



Universidad Nacional de
Colombia

Geomecánica



Por: **Gonzalo Duque-Escobar y Carlos Enrique Escobar P.**

Manizales, 2016.

CONTENIDO

Presentación.

1. Origen, formación y constitución del Suelo.

Físico-química de las arcillas. Pg 4

2. Relaciones de volumen y peso para Suelos. Pg 26

3. Estructura del suelo y granulometría. Pg 50

4. Plasticidad de los Suelos. Pg 75

5. Clasificación e identificación de los Suelos. Pg 92

6. Capilaridad. Propiedades hidráulicas de los suelos. Pg 113

7. Redes de flujo. Pg 138

8. Consolidación de suelos. Pg 164

9. Esfuerzos en el suelo. Pg 188

10. Teoría del círculo de Mohr. PG 244

11. Ensayos de corte y triaxial en suelos. Pg 278

12. Compactación de suelos. Pg 302

13. Auscultación de suelos. Pg 314

14. Coberturas vegetales. Pg

Tablas Valores típicos y Características de los materiales térreos. Pg 340
Fuentes Bibliográficas y de Consulta. Pg 433

GEOMECÁNICA**PRESENTACIÓN**

Geomecánica para el Curso de Mecánica de Suelos I del programa de Ingeniería Civil, que se dicta en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, con una intensidad de 5 horas/semana (4h teóricas, 1h-laboratorio) durante 16 semanas.

Contiene, además de un compendio teórico y bibliográfico para cada módulo, y de cuadros o tablas con información geotécnica sobre propiedades y características de los materiales térreos de utilidad para los trabajos de laboratorios, análisis de resultados y toma de decisiones, y ejercicios resueltos y propuestos de soporte para el aprendizaje y para la Evaluación del curso.

El contenido ofrecido, no entra a los temarios de las asignaturas de Suelos II, de Geotecnia vial y de Pavimentos, así trate someramente algunos fundamentos fundamentales para dichas materias, dado que ellas tienen este curso como soporte. Igualmente, esta asignatura se soporta en el curso de Geología, cuyo enlace se ofrece en cada capítulo, al lado de otras fuentes de complemento que pueden ser consultadas del mismo modo.

Desde la óptica de la geotecnia en el contexto del trópico andino, donde nuestros jóvenes suelos geodiversos y fundamentalmente residuales heredan las discontinuidades de macizos rocosos afectados por vulcanismo y tectonismo, se incorporan dos desafíos; primero, la precariedad del desarrollo de la Mecánica de los suelos para nuestro medio ecosistémico, como ciencia aplicada que surge en otro escenario predecible con estructuras relictas de unos suelos transportados más homogéneos, como lo son los de las latitudes altas donde nace esta ciencia aplicada; y segundo, el de la mayor incertidumbre de las obras subterráneas como túneles y cimentaciones de grandes terraplenes, respecto a las estructuras fundamentalmente tecnológicas.

Sabemos que mientras la incertidumbre de las estructuras metálicas y de concreto puede alcanzar valores del 4% al 6%, en los macizos rocosos poco disturbados, la incertidumbre de las estructuras subterráneas es del orden del 30%. No obstante, en nuestro medio tropical andino donde además de la alteración tectónica suelen aparecer suelos especiales susceptibles de alteración acelerada, la cuantía podría llegar al 50%. De ahí la importancia del método observacional implementado en la geotecnia por Terzaghi (1945) y que formaliza con Peck (1948), dada su utilidad para el desarrollo de esta clase de obras en la ingeniería del terreno.

Finalmente, queremos recordar que este texto de Geomecánica, se fundamenta en el libro "Mecánica de los suelos" (2002) utilizado en nuestros cursos de la Universidad Nacional de Colombia. See more at: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3375>

Atentamente, GDE y CEE.

CONTENIDO

CONTENIDO		LECTURAS:
CAPÍTULOS	DESCRIPCIÓN	
Index: Presentación.		Contenido sumario y fuentes básicas de consulta.
1 Origen, formación y constitución del Suelo. Físico química de las arcillas.		Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.
2 Relaciones de volumen y peso para Suelos.		Huracanes y terremotos acechan.
3 Estructura del suelo y granulometría.		Gobernanza forestal para la ecorregión andina.
4 Plasticidad de los Suelos.		El Cuidado de la Casa Común: Agua y Clima.
5 Clasificación e identificación de los Suelos.		Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.
6 Capilaridad. Propiedades hidráulicas de los suelos.		Manizales: un diálogo con su territorio.
7 Redes de flujo.		Caldas en la biorregión cafetera.
8 Consolidación de suelos.		El volcán y el desastre de Armero.
9 Esfuerzos en el suelo.		El territorio caldense, ¿un constructo cultural?
10 Teoría del círculo de Mohr.		La economía en la era del conocimiento.
11 Ensayos de corte y triaxial en suelos.		Economía colombiana: crisis y retos.
12 Compactación de suelos.		Clima: las heladas en Colombia.
13 Auscultación de suelos.		Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes.
14. Coberturas vegetales.		¿Qué hacer con la vía al Llano?
Tablas Valores típicos y Características de los materiales térreos.		Túnel Manizales
Bibliografía.		Fuentes básicas y complementarias

CAPÍTULO 1

GEOMECÁNICA PARA INGENIEROS

Por: **Gonzalo Duque Escobar.**
I.C Especialista en Geotecnia

Carlos Enrique Escobar Potes.
I.C. Msc Hábitat

1.1 Introducción

El suelo es el material de construcción más abundante dentro de las prácticas de la ingeniería Civil, y constituye el soporte de las estructuras como edificaciones, vías, puentes, canales, torres, entre otros, además se utiliza como el material de terraplenes viales, muros de tierra reforzada con geotextil, diques, rellenos de adecuación de terrenos en relieves pendientes para áreas urbanas. Los suelos conforman los taludes de corte y de terraplenes viales y son estructuras que cumplen funciones diversas en los proyectos: son los elementos a estabilizar cuando se trata de taludes, y a la vez brindan estabilidad a los demás elementos que hacen parte de un tratamiento de pendientes, como los canales, las bermas, las estructuras y la vegetación que protege el suelo.

De ahí la necesidad de estudiar los suelos desde las diferentes ópticas y necesidades dentro de las prácticas de la Ingeniería Civil. La estabilidad volumétrica de un suelo, donde no se admiten deformaciones altas, la estabilidad de los taludes y de las estructuras que hacen parte de la cimentación de una estructura; la saturación de los suelos y sus consecuencias en la inestabilidad de taludes, la estabilidad del suelo frente a procesos de erosión hídrica o sus cambios de volumen y resistencia cuando se deshidrata, son algunos de los comportamientos que se deben estudiar en la mecánica de suelos para dar respuesta a problemas frecuentes vinculados con los materiales térreos.

La Mecánica de Suelos brinda las herramientas que permiten la solución a muchos problemas de la ingeniería de suelos: el origen y la formación del suelo es el primer análisis para sectorizar o inferir sobre la presencia de formaciones litológicas diferentes, de comportamientos diversos; la relación de fases permite conocer los pesos y volúmenes de los suelos y sus variaciones cuando cambia su humedad; la clasificación de los suelos se soporta en los laboratorios de granulometría y plasticidad, donde se identifican las propiedades de los suelos granulares, dependiendo de la cantidad y frecuencia de los tamaños de los granos que conforman el suelo o las cualidades de los suelos finos por la plasticidad que exponen sus partículas finas.



Figura 1.1 Talud inestable por deslizamientos superficiales y erosión en surcos. Las ciclas de cascada hasta la deshidratación.

El suelo y el agua tienen vínculos muy estrechos y tanto la ausencia de agua dentro de la estructura del suelo cuando éste se seca, o el exceso hasta la saturación ejercen control sobre su peso, alteran

la resistencia de ese suelo y cambia su volumen; además de la respuesta del suelo fino saturado por la aplicación de cargas estáticas, cuando se induce el flujo del agua libre, se deforma y sufre asentamiento la estructura apoyada en él.

El suelo debe ser un elemento funcional en los proyectos de ingeniería cuando conforma taludes de corte y de terraplenes, y su funcionalidad se vincula con la conservación de la humedad y de la plasticidad para soportar la vegetación que lo protege y conservar sus cualidades que permiten la estabilidad del talud. El talud de la figura 1.1 es inestable por causa de los ciclos de secado y saturación que sufre el suelo cuando pierde humedad hasta la deshidratación por el calor del sol y el viento, y sufre la saturación por lluvias.

La magnitud de los esfuerzos en masas de suelo por la presencia de esfuerzos externos y el análisis de la magnitud y dirección de los esfuerzos o los esfuerzos máximos y mínimos en una masa de suelo son de vital importancia para el análisis de la respuesta de las estructuras subterráneas, como redes de alcantarillado, alcantarillas en vías, túneles o de las estructuras de contención.

Todas las prácticas de la mecánica de suelos se soportan en campañas de prospección de los suelos y en el laboratorio para identificar y caracterizar los materiales que integran las áreas de los proyectos de ingeniería. De ahí la necesidad de tener claridad sobre el alcance y el objetivo de los trabajos de campo y de laboratorio para lograr los registros y parámetros que permitan resultados exitosos. Por último, la instrumentación de los suelos es cada vez más vital, necesaria y frecuente dentro de las prácticas de la ingeniería. La medición de variables como la deformación del suelo, los cambios de las presiones totales, la presión de poro o la respuesta frente a perturbaciones dinámicas son necesarias cuando se construyen estructuras grandes y complejas.



Figura 1.2 La cimentación del muro de contención a media ladera está atendida por la cimentación superficial y pilotes que transmiten las cargas a mayor profundidad,

El presente texto de mecánica de suelos es un instrumento que se brinda las herramientas básicas necesarias para abordar con éxito el análisis y las soluciones vinculadas con el manejo de los suelos en la práctica de la ingeniería civil y afines.

Terzaghi dice: La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de la roca, independiente que tengan o no materia orgánica.

La mecánica de suelos incluye:

- a. Teoría sobre el comportamiento de los suelos sujetos a cargas, basada en simplificaciones necesarias, dado el estado actual de la teoría.
- b. Investigación de las propiedades físicas de los suelos.
- c. Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

Los métodos de investigación de laboratorio figuran en la rutina de la mecánica de suelos.

En los suelos se tiene no solo los problemas que se presentan en el acero y concreto (módulo de elasticidad y resistencia a la rotura), exagerados por la mayor complejidad del material; sino otros como su tremenda variabilidad, donde los procesos naturales formadores de suelos están por fuera del control del ingeniero. En la mecánica de suelos es importante el tratamiento de las muestras (inalteradas – alteradas). La mecánica de suelos desarrolló los sistemas de clasificación de suelos donde se caracteriza el suelo a partir de propiedades como color, olor, textura, distribución de tamaños, plasticidad (A. Casagrande). El muestreo, la clasificación y la obtención de los parámetros mecánicos de los suelos son requisitos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño.



Figura 1.3 La construcción de estructuras en tierra incluye la disposición y compactación del suelo, el control de la humedad, el drenaje del suelo y la conformación del talud estable. (Carlos E

1.2 Problemas planteados por el terreno en la ingeniería civil.

En su trabajo práctico el ingeniero civil atiende problemas diversos y complejos planteados por el suelo. Prácticamente todas las estructuras de ingeniería civil como edificios, puentes, carreteras, túneles, muros, torres, canales o presas, deben cimentarse sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura se comporte satisfactoriamente debe estar dotada de una cimentación adecuada: cuando el terreno firme está próximo a la superficie, una forma común de transmitir las cargas de la estructura al terreno es mediante zapatas. Un sistema de zapatas se denomina cimentación superficial; cuando el terreno firme no está próximo a la superficie, un sistema habitual para transmitir el peso de la estructura al terreno firme es mediante pilotes.

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas constituye, de hecho, el único material disponible. Cuando el ingeniero emplea el suelo como material de construcción debe seleccionar el tipo de suelo adecuado, el método de colocación y debe controlar su colocación en obra. Ejemplos de suelo como material de construcción son las presas de tierra, los terraplenes como el presentado en la figura 1.3 y los rellenos para la adecuación de vías.

Otro problema común ocurre cuando la superficie del terreno es inclinada y existe una componente del peso que tiende a generar el deslizamiento del suelo. Si a lo largo de un plano potencial de deslizamiento los esfuerzos debido al propio peso del talud o cualquier otra causa (como las aguas freáticas, el peso de una estructura o un sismo), superan la resistencia disponible del suelo, se produce el deslizamiento del terreno.



Figura 1.4 Talud conformado por suelo natural relleno. Los colores que exhiben los suelos reflejan su origen: unos son el resultado de la descomposición de la roca, otros son

Las otras estructuras ligadas a la mecánica de suelos son aquellas construidas bajo la superficie del terreno como las alcantarillas y los túneles, entre otros, y soportan las fuerzas que ejerce el suelo en contacto con la misma.

Las estructuras de contención son otro problema a resolver con el apoyo de la mecánica de suelos, las más comunes son los muros, las tablestacas, las pantallas ancladas y los muros en tierra reforzada.

1.3 Historia de la mecánica de suelos

La historia de la Mecánica de Suelos como la de otras ramas de la ingeniería, muestra que su estado del arte se ha construido sobre la necesidad de plantear soluciones a los retos socioambientales del hábitat con nuevas estructuras, como vías, muros, canales, edificaciones y otras obras.

Si para el efecto, la recopilación, revisión y análisis de las experiencias que fueron contribuyendo al a la consolidación de la ingeniería como una disciplina aplicada, también el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas asociadas a procesos ingenieriles y a materiales de construcción, resultaron ser fundamentales. Hoy más que nunca los procedimientos y técnicas de construcción, cuentan con herramientas de análisis y cálculo complementarias a los necesarios modelos físicos a escala que siempre son de carácter fundamental, como lo son los modelos digitales, un valioso soporte de la vida moderna.

Para ilustrar el difícil periplo de la ingeniería a lo largo de su historia, veamos:

En la dinastía Chou, 1.000 A. C, se dan recomendaciones para construir los caminos y puentes. El siglo XVII trae las primeras contribuciones literarias sobre ingeniería de suelos y el siglo XVIII marca el comienzo de la Ingeniería Civil, cuando la ciencia se toma como fundamento del diseño estructural.

Vauban, 1.687, ingeniero militar francés formula reglas y fórmulas empíricas para construcción de muros de contención.

Bullet, 1.691, (francés), presenta la primera teoría sobre empuje de tierras y a ella contribuyen los franceses Couplet (1.726), Coulomb (1.773), Rondelet (1.802), Navier (1.839), Poncelet (1.840) y Collin (1.846). Más adelante el escocés Rankine (1.857) y el suizo Culman (1.866).

En 1773, Coulomb (francés), relaciona la resistencia al corte con la cohesión y fricción del suelo. En 1857, Rankine (Escocés), presenta su teoría del empuje de tierras. En 1856, se presenta la "Ley de Darcy" (Francia) y la "Ley de Stokes" (Inglaterra), relacionadas con la permeabilidad del suelo y la velocidad de caída de partículas sólidas en fluidos.

Culman (1866) aplica gráficamente la teoría de Coulomb a muros de contención. En 1871, Mohr (Berlín) desarrolla el cálculo de esfuerzos (una representación gráfica) en un punto del suelo dado.

1873, Bauman (Chicago) afirma que el área de la zapata depende de la carga de la columna y recomienda valores de carga en arcillas.

En 1885 Boussinesq (Francia) presenta su teoría de distribución de esfuerzos y deformaciones por cargas estructurales sobre el terreno.

En 1890, Hazen (USA) mide propiedades de arenas y gravas para filtros.

En 1906, Strahan (USA) estudia la granulometría para mezclas en vía.

En 1906, Müller, experimenta modelos de muros de contención en Alemania.

En 1908, Warston (USA), investiga las cargas en tuberías enterradas.

En 1911, Atterberg (Suecia), establece los límites de Atterberg para suelos finos.

En 1913, Fellenius (Suecia), desarrolla métodos de muestreo y ensayos para conocer la resistencia al corte de los suelos y otras propiedades. Además, desarrolla el método sueco del círculo para calcular la falla en suelos cohesivos.

En 1925, Terzagui, presenta en Viena el tratado ERDBAUMECHANIK que hace de la Mecánica de Suelos una rama autónoma de la Ingeniería. El científico de Praga, Karl Terzagui, es el padre de la Mecánica de Suelos.

Y para el caso local, si bien la Universidad Nacional de Colombia que nace en 1867, abraza el Colegio Militar una institución pública creada en 1961 por el general Tomás Cipriano de Mosquera para formar los oficiales del Estado Mayor e Ingenieros Civiles, en la Sede de Manizales donde la entonces Facultad de Ingeniería se crea en 1948 como primer programa académico de la Universidad Popular creada en 1943, tras un año de labores orientadas hacia la ingeniería mecánica surge el programa de Ingeniería Civil, en el que hacia 1952 se dicta por primera vez el curso de Mecánica de Suelos, por el Ingeniero Civil Julio Robledo Isaza.

1.4 Origen formación y constitución del suelo

El ingeniero de suelos debe conocer el contexto geológico del suelo, las condiciones agrológicas de las unidades, el clima de la región y el relieve. Sin ese entendimiento, su trabajo estará lleno de incertidumbres que pueden traducirse en pérdidas de oportunidades al desconocer las propiedades inherentes al material, y sobretodo, al no incorporar los elementos de riesgo para el diseño, por omitir circunstancias fundamentales intrínsecas y ambientales.

1.4.1. Generalidades

Suelo en Ingeniería Civil son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas fruto de la alteración de las rocas, o los suelos transportados por agentes como el agua, el hielo o el viento, con la contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva y que puede tener, o no materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

La mecánica de suelos es la aplicación de la mecánica y la hidráulica a los problemas geotécnicos. Ella estudia las propiedades, el comportamiento y la utilización del suelo como material estructural, de tal modo que las deformaciones y resistencia del suelo ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad a las estructuras.

La estructura del suelo puede ser natural (la del suelo "in situ"), como un talud, o el suelo de cimentación, o artificial (suelo como material de construcción), como un terraplén o un relleno.

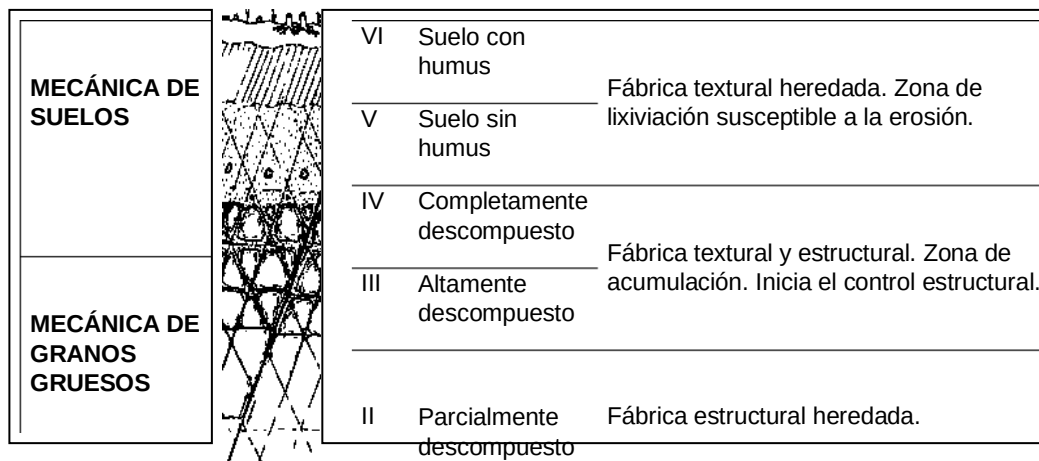


Figura 1.5 Perfil del suelo residual (en geotecnia). El perfil geotécnico se describe con seis horizontes, del I, en la base al VI en la superficie, pudiendo en ocasiones estar el perfil incompleto por faltar en el algún horizonte.

1.4.2 Etapas y procesos en la formación del suelo (I) y de las arcillas (II)

Los suelos se forman a partir de la alteración de la roca. Esta inicia con la alteración mecánica cuando la tectónica induce esfuerzos que deforma y fracciona la roca, y la descarga por erosión disminuye las presiones, y permite el relajamiento y la ampliación de las discontinuidades a través de los planos estructurales de esta. La roca fracturada y relajada es más permeable, permite la circulación de flujos y obra la meteorización capaz de transformar los minerales de la roca que están en contacto con el agua.

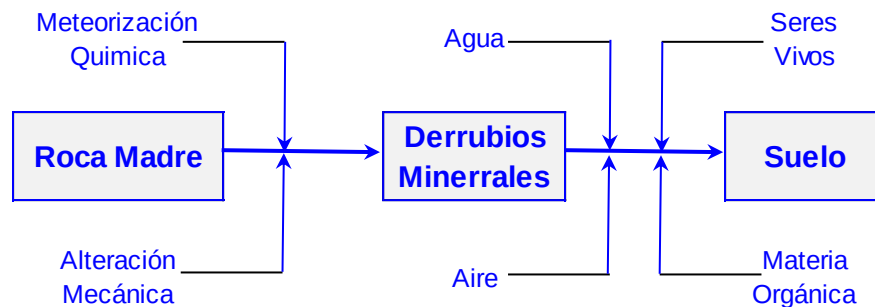


Figura 1.6 Etapas y procesos en la formación del suelo

1.4.3 Factores de Formación y Evolución del Suelo (F.F.E.S.):

Los factores que intervienen en la formación y evolución del suelo son cinco:

El Material Parental: cuando la roca o los suelos son permeables permiten el acceso y la circulación de líquidos (agua) y gases (aire) que reaccionan con los minerales constituyentes de la roca madre.

El Tiempo: Las deformaciones que sufre la roca y el suelo, la circulación de los líquidos y gases a través de la estructura y las reacciones químicas requieren tiempo: unos minerales sufren alteración más rápido que otros, de ahí que la alteración del suelo es heterogénea y por eso los perfiles cambian con gran frecuencia.

El relieve: Las pendientes, el patrón del drenaje, la orientación de la ladera y las barreras topográficas son el resultado de la combinación de la actividad tectónica y volcánica que forman el relieve y los procesos denudativos modelan el paisaje. Tanto la erosión del suelo como la acumulación están muy ligados al relieve y éste ejercer control sobre los espesores del suelo: en las áreas planas los suelos presentan mayor espesor que en las pendientes donde se erosionan.

Los Formadores Biológicos: la meteorización vinculada con los formadores biológicos o "meteorización edafquímica" es aquella vinculada con la actividad fisiológica de la flora y fauna, soportada en las reacciones químicas donde el agua es fundamental para los procesos y en ella se

originan ácidos orgánicos y gases que reaccionan con el suelo y la descomposición de la materia orgánica contribuyen a la formación del suelo.

El Clima: la temperatura, las precipitaciones, la humedad relativa, el balance hídrico determinan la intensidad de la acción y velocidad de procesos de meteorización, formadores de los suelos. En zonas de lluvias abundantes y temperaturas altas se dan las condiciones para la generación de suelos, en zonas áridas hay poca disponibilidad de agua, reacciones químicas más lentas y cambios bruscos de temperaturas que estimulan la formación de suelos granulares sobre los suelos arcillosos. En las áreas donde los suelos están desprovistos de vegetación se presentan los ciclos de secado-humectación severos que hacen perder algunas propiedades del suelo, su funcionalidad y estabilidad como estructura dentro de la ingeniería.

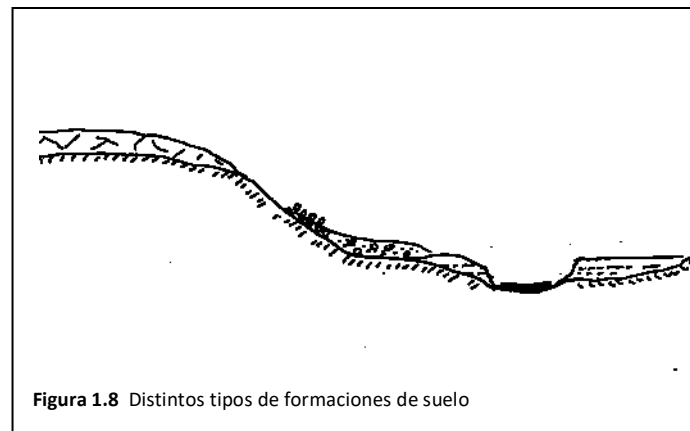


Figura 1.8 Distintos tipos de formaciones de suelo

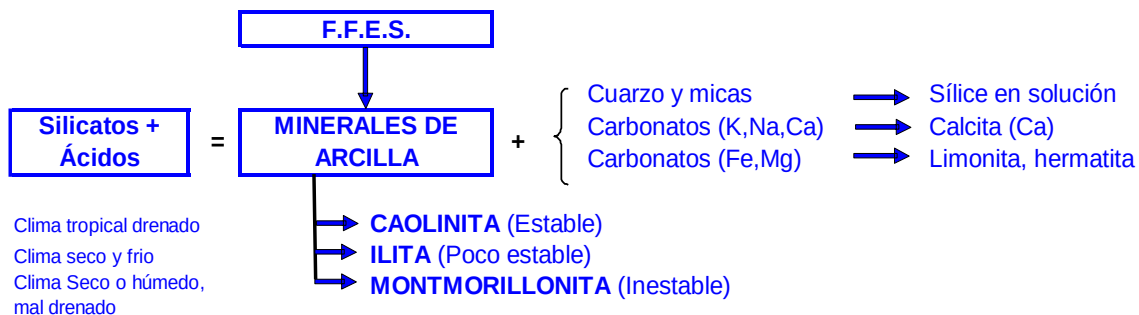


Figura 1.7 Etapas y factores de formación de las arcillas

1.4.4 Los Depósitos

Los depósitos de tierra son las formaciones de suelos transportados (formaciones superficiales) por la acción de agentes como el agua, el hielo, el viento y el hombre, con contribución de la gravedad. Se clasifican según el agente, el lugar y la estructura.

El ingeniero de suelos debe reconocer y advertir las propiedades ingenieriles de los depósitos y diferenciarlas de aquellas exhibidas por los suelos residuales. La densidad, la compresibilidad, la resistencia, la permeabilidad y la plasticidad son unas de muchas propiedades de los suelos que permiten los diseños y la atención de problemas en forma oportuna, para atender los problemas que se generan en un suelo de depósito y son diferentes a los generados en una formación con otra génesis.

Por el agente: los materiales que son movilizados, transportados y depositados por un agente adquieren ciertas propiedades particulares: los depósitos coluviales son transportados ladera abajo por la acción de la gravedad; estos depósitos alcanzan humedades altas y su textura y estructura está gobernada por las fuerzas de la gravedad. Los depósitos eólicos son transportados por el viento, en el transporte y depósito se presenta una selección por tamaños y densidades y ocurre el depósito de partículas secas de diámetros y densidades similares conformando depósitos de baja densidad. Los depósitos aluviales son formados a partir del transporte de partículas por la acción del agua y su sedimentación. Las características del depósito es el resultado de la energía y densidad del flujo, y estos determinan los tamaños de las partículas: se presentan depósitos arcillosos en ambientes de energías bajas y depósitos granulares de arenas y gravas cuando la energía del agua es alta. El depósito glaciar (hielo), es el resultado de los depósitos en los glaciares que forman los casquetes polares. El proceso del avance y retroceso del glaciar genera un rozamiento entre hielo y el material de cimentación, y con este la erosión de material de cimentación, su transporte y depósito cuando el glaciar se descongela.

Por el lugar: los depósitos que se generan en humedales y áreas bajas con nivel freático superficial se denominan palustres (pantanos); los depósitos en el fondo marino (marinos), se forman en ambientes de concentración de sales diferentes a los depósitos continentales (terrágenos) y los depósitos lacustres (lagos) donde el agente son aguas dulces con otra concentración de sales. La respuesta de los depósitos es diferente debido a la estructura de los suelos (el ordenamiento de las partículas sólidas finas está gobernado por fuerzas eléctricas), al grado de consolidación y a la susceptibilidad a la erosión por el cambio de la concentración de sales que ocupan los espacios vacíos.

Por la estructura: los clásticos (fragmentos) son depósitos en los pies de taludes rocosos de clastos que son el producto de la alteración de la roca por cambios bruscos de temperatura; los depósitos no clásticos (masivos) son suelos y bloques donde las propiedades del material están gobernadas por la resistencia o la permeabilidad del material fino.

Los talus y los coluviones son depósitos de ladera: el talus es un depósito clastosoportado (Los bloques están mutuamente en contacto) y los coluviones son matriz soportados (la matriz de suelo no permite el contacto entre los bloques). Ambos depósitos se localizan en las laderas de acumulación. La infiltración es más intensa en las laderas convexas donde se puede presentar

procesos de reptamiento. Las laderas rectilíneas, largas y pendientes son denutativas y exhiben los horizontes I y II (Ver figura 1.8).

1.4.5 Alteración de las rocas

Existe un equilibrio dinámico entre las tasas de alteración TA y de denudación TD.

Cuando la tasa de alteración (TA) es mayor que la de denudación (TD) se incrementan los espesores de los suelos residuales, y si estos no se erosionan se pueden encontrar suelos de gran espesor.

Cuando la tasa de denudación es mayor que la tasa de alteración, se movilizan con facilidad los suelos y se conserva la roca cerca de la superficie del terreno. En estas áreas los suelos son de poco espesor. Este ambiente es propio de zonas secas sometidas a erosión severa y en laderas de pendientes fuertes.

En la zona tropical dominan los suelos residuales, mientras los de zonas templadas dominan los suelos transportados. En la primera la temperatura, la humedad y la meteorización son altas y con ellas la generación de suelos; en la segunda la ausencia de agua permanente ejerce control sobre la abundancia de la vegetación, se estimula la erosión hídrica y eólica y con ello la pérdida de suelo.

La Mecánica de Rocas es la parte de la geotecnia encargada de atender problemas vinculados con los macizos rocosos.

Las alteraciones que sufren las rocas por la acción de la tectónica y la actividad hidrotermal no son formas de meteorización; pero contribuyen a preparar los materiales para la meteorización acelerada que se presenta en ambientes húmedos, donde las variaciones del clima y la humedad son intensas. No son la humedad y la temperatura, sino las variaciones de ambas las que hacen intensa y rápida la meteorización.

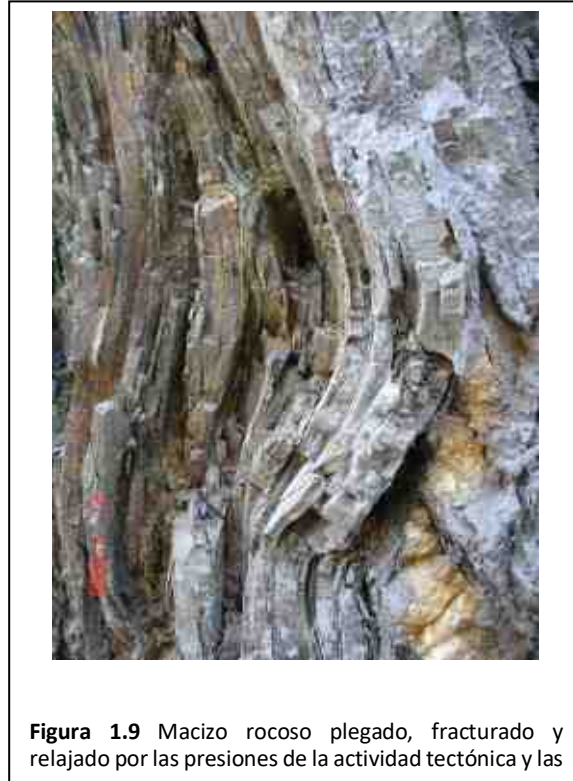


Figura 1.9 Macizo rocoso plegado, fracturado y relajado por las presiones de la actividad tectónica y las

1.4.5.1 Alteración física:

Incluye la desintegración de la roca por acción mecánica. La roca es sometida cambios de esfuerzos por la descarga del suelo: se presenta el relajamiento, se abren las fisuras y la estructura del macizo rocoso es más evidente y abierta. Los ciclos de secado saturación o los cambios de temperatura contribuyen a la disgregación de la roca y a la formación del suelo. Actividades como la tectónica (ver figura 1.9), el clima, la acción biológica y la hidrotermal intervienen en los macizos rocosos y los preparan para la meteorización.

1.4.5.2 La Alteración Química:

Son el conjunto de las reacciones químicas entre el suelo y los agentes como el agua y los fluidos que permean el sustrato y dan como resultado el suelo. Las reacciones químicas pueden ser por agua (hidratación, hidrólisis, solución), por CO₂ (Carbonatación) o por O₂ (Oxidación, reducción).

Los coluviones son por lo general depósitos de suelo formados por la acción de la gravedad y quedan acumulados en el pie de las laderas; son heterogéneos, sueltos y en ocasiones presentan bloques angulosos. En ellos se estimula la infiltración y el paso del agua a través de su estructura, estimulando la formación de los suelos.

Los aluviones son depósitos conformados por materiales gruesos embebidos en matrices finas que se depositan en los valles estrechos de montaña, o por materiales finos que ocupan los valles amplios. La gradación está vinculada con la intensidad del evento: la acción hidráulica del fluido que moviliza el material, las características del flujo que lo transporta y el ambiente en el cual se deposita determinan la textura y estructura del depósito: en cauces torrenciales y valles estrechos son comunes depósitos heterogéneos de materiales finos y bloques; en valles amplios de pendientes bajas los materiales depositados son, por lo general, finos.

Los depósitos lacustres son por lo general de grano fino; los depósitos marinos suelen ser estratificados.

Los depósitos glaciares son heterogéneos, los till¹ no presentan estratificación clara; los fluvioglaciares sí. Los primeros por el efecto aplanadora del hielo y los segundos por formarse a partir de las aguas de fusión.

Los depósitos eólicos son homogéneos, los loes son conformados por limos y los más estables son acumulaciones de arena.

Los principales minerales que constituyen suelos gruesos son: Silicato principalmente feldespato (K, Na, Ca), micas (moscovita y biotita), olivino y serpentina. Óxidos, en especial el cuarzo (SiO₂), limonita, magnetita y corindón. Carbonatos, principalmente calcita y dolomita; y sulfatos como yeso y anhidrita.

En los suelos gruesos el comportamiento mecánico e hidráulico depende de su compacidad y la orientación de las partículas, y poco influye la composición mineralógica.

Las diferencias entre la roca y el suelo:

Desde la perspectiva geotécnica, dicha diferencia depende de la resistencia a la compresión σ_c , según estos criterios:

¹ **Tillita:** Material depositado por glaciación; este material usualmente está compuesto por un amplio rango de tamaños de partículas, que no ha sido sometido a selección por acción del agua. (Geotecnia, diccionario básico, Fabián Hoyos Patiño. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, 2001).

- Roca es dura si $\sigma_c > 300 \text{ Kg/cm}^2$.
- Roca es blanda si $200 \text{ Kg/cm}^2 < \sigma_c < 300 \text{ Kg/cm}^2$
- Suelo si $\sigma_c \approx 10 \text{ Kg/cm}^2$ (El concreto normalmente es de $\sigma_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$)

Los suelos homogéneos presentan planos de falla circulares; las rocas tienen planos gobernados por la estructura del macizo rocoso.

Diferencias entre las arcillas y las arenas

ARENAS

Volumen de los poros hasta 50% máximo
No es plástica.
No se retrae al secarse
No es compresible o lo es muy poco
Se comprime rápidamente.
La humedad la afecta poco.
Tamaño de las partículas mayor de 0,06 mm
No presenta cohesión.

ARCILLAS

Volumen de los poros hasta 98% máximo.
Es plástica.
Se retrae al secarse.
Muy compresible.
Por carga aplicada se comprime lentamente.
Su consistencia depende de la humedad.
Tamaño menor de 0,002 mm.
Presenta cohesión.

Diferencias entre las arcillas y los limos

ARCILLAS

La resistencia seca es alta a muy alta, especialmente si se seca al horno.
No desprende polvo de la superficie.
Difícilmente desmenuzable con los dedos.
Plasticidad. Los rollitos del límite plástico son tenaces, secan lentamente y permanecen finos, con humedades bajo el estado plástico. Tienen resistencia alta a muy alta.
Reacción muy lenta o nula a la vibración o dilatancia. La superficie permanece lustrosa.
Dispersión. Cuando está en suspensión, tarda días a semanas, en asentarse, a menos que haya floculación.

LIMOS

La resistencia seca es baja, aún seca al horno.
Desprende polvo de la superficie.
Es fácilmente desmenuzable con los dedos.
Plasticidad. Los rollitos para el límite plástico son frágiles. Secan rápido y se agrietan fácilmente con humedad bajo el estado plástico. Tienen resistencia baja.
Reacción rápida frente a vibración o dilatancia. La superficie se vuelve húmeda por vibración y se opaca al presionarla.
Dispersión. Se asienta entre 15 y 60 minutos.
La arena tarda entre 30 y 60 segundos.

1.4.6 Componentes del suelo.

El aire y el agua son elementos constitutivos del suelo, además de los sólidos y los gases. Los guijarros son fragmentos de roca con diámetros (ϕ) > 2 cm. Las gravas tienen dimensiones entre 2 mm y 2 cm. La arena gruesa desde $0,2\text{mm} < \phi < 0,2$ cm; la arena fina entre $0,005\text{ mm} < \phi < 0,2$ mm. Se denomina limos a las partículas con diámetro aparente entre $0,005\text{ mm}$ y $0,05\text{ mm}$. Con los análisis granulométricos, las arcillas son los constituyentes de diámetro aparente inferior a $0,002\text{ mm}$ (o 2μ), pero el término arcilla tiene otro sentido, adicionalmente, no granulométrico.

1.5 La Arcilla.

Son grupos minerales definidos, como caolinita, illita y montmorillonita, donde participan estructuras octaédricas y tetraédricas. La arcilla, como el humus, posee propiedades coloidales. Las arcillas, en el sentido mineralógico, son cristales microscópicos cuyos átomos están dispuestos en planos.

Al interior de una trama de átomos de oxígeno, cuyas esferas iónicas son voluminosas, se encuentran cationes de sílice (Si) y aluminio (Al). Si el volumen lo permite, los cationes de hierro (Fe), magnesio (Mg), calcio (Ca) o potasio (K) reemplazan al sílice (Si) y al aluminio (Al).

Las arcillas tienen una capacidad de intercambio iónico grande. Otros iones diferentes a los enunciados pueden completar las capas y unirlos, y también, las cargas eléctricas libres pueden ser equilibradas por iones intercambiables.

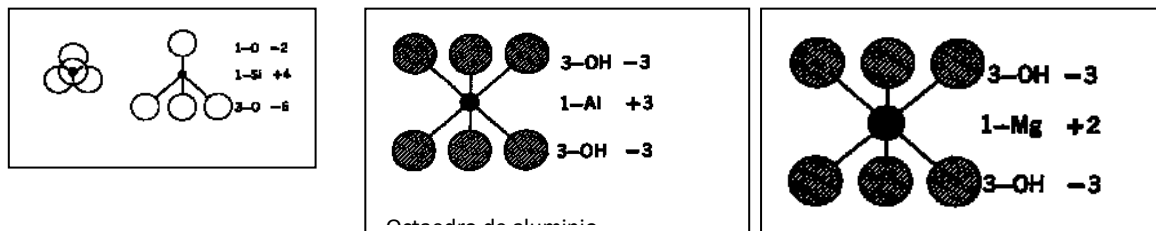


Figura 1.10 Tres unidades estructurales básicas y radios iónicos

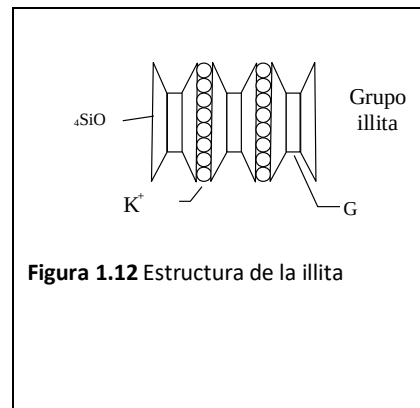
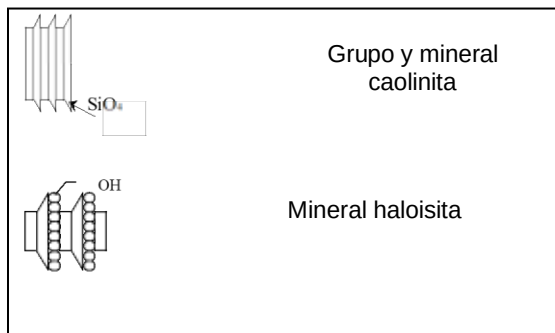
Gibbsite: (G) Lámina de alúmina, fruto de la combinación de octaedros de aluminio (Al).

Brucita: (B) Lámina hidratada, fruto de combinar octaedros de magnesio (Mg).

Láminas de sílice: Tetraedros (SiO_4) de sílice dispuestos en lámina. Ver trapecios.

Las arcillas 1:1 son arreglos de octaedro G o B (rectángulo) y T de Silicio (trapecio)

Las arcillas 2:1 son 2 tetraedros de silicio y en medio de ellos un octaedro G o B.

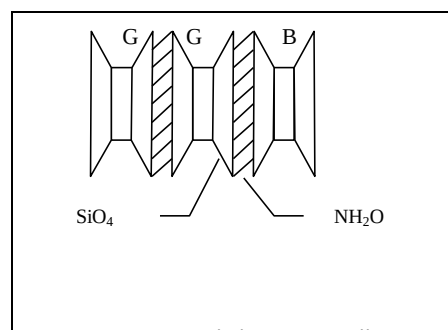


1.5.1. Las Caolinitas: Principal grupo de arcillas que presenta baja capacidad de intercambio, 10 – 12 me (miliequivalentes) cada 100 gr, y con dos capas de cationes, las llamadas arcillas 1:1 (capa tetraédrica más capa octaédrica de alúmina hidratada). El arreglo, que se repite indefinidamente da una carga eléctrica neutra del mineral caolinita, cuya estructura no es expansiva, por no admitir agua en su retícula. Estas arcillas son moderadamente plásticas, de mayor permeabilidad y mayor fricción interna. Del grupo son: HALOISITA, CAOLINITA (por definición), ENDELLITA, DICKITA, ALOFANO, NACRITA Y ANAUXITA. La haloisita, aunque tiene la misma fórmula del caolín, contiene moléculas extras dentro de su estructura. En la figura 1.11 Gibbsita = SiO_4 (En la "Carta de Plasticidad" las caolinitas están bajo la línea A = limos).

1.5.2. Illita: Es una arcilla 2:1, cuya capacidad de intercambio es de unos 40 me/100gr, lo que la hace algo expansiva. Las láminas de alúmina están entre dos láminas de SiO_4 , y estas se ligan por iones de potasio, que le dan cierta estabilidad al conjunto. La actividad de la illita es 0,9, de la caolinita es de 0,38. El coeficiente de fricción interno y la permeabilidad son menores que en la caolinita y mayores que en la montmorillonita.

1.5.3. Montmorillonita: Arcilla 2:1 cuya capacidad de intercambio es de unos 120 me/100gr, lo que las hace muy expansivas. Entre las dos láminas de sílice se encuentra una brucita o una gibbsite, y este arreglo se repite indefinidamente. La unión entre minerales individuales es débil, por lo cual el agua se inserta, introduciendo moléculas para producir el hinchamiento del suelo. Además de ser expansiva, la montmorillonita es muy plástica y se contrae al secarse, mejorando su resistencia y haciéndose impermeable. La actividad de la montmorillonita es 7,2.

Entre las montmorillonitas se identifican:
La MONTMORILLONITA (por definición),
HECTORITA,
SAPONITA, BEIDELLITA,
SAUCONITA, TALCO,
PORFILITA y NONTRONITA.



Bentonitas: Suelos montmorilloníticos altamente plásticos y altamente expansivos, de grano tan fino que al tacto es jabonoso (sí es húmedo). Se utilizan para sellar fugas en depósitos y canales.

Vermiculita, clorita, sericita, etc., son otros minerales arcillosos no clasificados en los anteriores tres grupos.

1.5.4. Actividad:

Este parámetro lo expresó Skempton (1953) como la pendiente de la línea que relaciona el índice plástico de un suelo con su contenido de minerales de tamaño arcilloso, como se verá en el Capítulo 4, numeral 4.1 y fórmula 4.3. Una actividad normal es de 0,75 a 1,25. Más de 1,25 es alta y menos de 0,75 es inactiva. Actividad supone cohesión, expansividad y plasticidad. Véase Tabla 4.2- Actividad de las Arcillas.

1.6 Definiciones

Saprolito: Suelo residual en el que se conservan relictos con la textura y la estructura de la roca original. Normalmente el saprolito presenta una textura limosa o areno-limosa y colores abigarrados en los que predominan los tonos rojizos debido a la oxidación del hierro y los minerales primarios.

Regolito: Término genérico utilizado para designar los materiales de la corteza terrestre que se encuentran entre la superficie y el sustrato rocoso, sean ellos residuales o transportados. Es un sinónimo de suelo que comprende los fragmentos de roca, suelos residuales, depósitos aluviales, lacustres, glaciales, eólicos y marinos, suelos orgánicos y depósitos antrópicos.

Suelo residual: Suelo formado por la meteorización in situ del material parental.

Suelo transportado: El que se forma lejos de la roca madre (alóctono).

Lixiviación: Remoción de material soluble y coloides del suelo por el agua de percolación.

Humus: Material de color pardo o negro formado por la descomposición parcial de materia orgánica (vegetal o animal). Es la porción orgánica del suelo.

Relictos: Estructuras heredadas por el suelo, de la roca madre (diaclasas, fracturas, etc.).

Coluvión: Son masas de suelo depositadas en la base de las laderas de pendientes moderadas, con la contribución de la gravedad. Estos depósitos están conformados por limos, arcillas, arenas mal gradadas, gravas o bloques. Son depósitos gravitacionales y se generan a partir de los movimientos en masa.

Aluvión: Depósitos de suelo originado por componentes transportados por una corriente de agua y posteriormente depositados por sedimentación.

Subsidencia: Hundimiento por presencia de cavernas kársticas o fallas activas.

Fixible: Que se exfolia, es decir, se separa en láminas delgadas.

Abrasión: Desgaste mecánico de las rocas por fricción e impacto, producido por la acción del agua, el viento y los glaciares.

Gelivación: Agrietamiento del suelo por acción del hielo.

Geoforma: Rasgo físico reconocible en la superficie de la tierra, como una forma propia característica. Las geoformas pueden tener una extensión tal que las haga asimilables a unidades geomorfológicas propiamente dichas como el caso de mesetas, valles llanuras; es preferible reservar este término para rasgos individuales, identificables en cartografía a escalas entre 1:10.000 y 1:50.000, o menores, como escarpes, terrazas, conos volcánicos, taludes, abanicos aluviales.

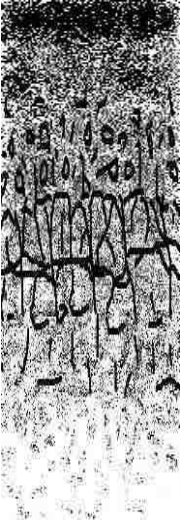
Tabla 1-1. Perfil de meteorización del macizo Rocoso (Adaptado de: notasingenierocivil.blogspot.com.co)					
Vegetación	Ígnea y Metamórficas	Limolitas Y Margas	Ígneas y Areniscas	Ígneas y Metamórficas	Todas las rocas
	Hz IA Con humus	IV Alteración Completa	Suelo Residual	Zona superior	Hz 6-Suelo con Humus
	Hz IB				Hz 5-Suelo sin Humus
	Saprolito IC Roca descompuesta	IV Alteración Parcial			Hz 4- Completamente descompuesto
	Suelo de Transición	III Alteración Parcial	Residual Joven	Zona Intermedia	Hz 3-Altamente descompuesto
	Meteorización Parcial	II Alteración Parcial	Roca desintegrada	Zona parcialmente alterada	Hz 2-Parcialmente descompuesto
	Roca Sana	Roca Inalterada	Roca sana	Roca inalterada	Hz 1-Roca sana
	Deere-Paton 1971	Chandler 1969	Vargas 1951	Sowers 1954-1963	Duque-Escobar 2002

Tabla 1.2- CALIDAD DE LAS ROCAS IN SITU

Calidad [1 MPa = 10,197 Kg/cm ²]	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	Resistencia a la Compresión Simple (Kg/cm ²)
Muy dura	> 200	> 2500
Dura	120– 200	1000-2500
Medio dura	60 – 102	500-1000
Medio blanda	30 – 60	250-500
Blanda	10 – 30	50-250
Muy blanda	< 10	10-15

Fuentes:	Walsh, en ifcextapps.ifc.org	Conanma, en conanma.com

Imagen 1.14- Los Macizos rocosos en Manizales		
Complejo Quebradagrande	Formación Manizales	Formación Casabianca
		
Unidad Cretácica constituida por dos miembros: uno volcánico y otro, el que se muestra, metasedimentario, constituido por areniscas líticas, brechas sedimentarias, chert, lutitas, grauvacas, etc.	Formación del Terciario, edad de 4 a 8 millones de años. Suprayace a Quebradagrande y es suprayacida por la Formación Casabianca o por la secuencia volcanoclástico de Manizales.	Unidad conglomerática del Terciario Superior, de color rojizo o amarillo y alto grado de meteorización. Con la anterior FM y las Cenizas de cobertura, constituye el supraterreno de Manizales.

Tabla 1.2- ALTERACIÓN DE SILICATOS COMUNES (Leet y Judson 1977)

Mineral	Composición	Productos
Olivino	$(\text{Fe, Mg})_2 \text{SiO}_4$	Limonita, Hematita, Carbonatos de Fe y Mg, Cuarzo dividido, Sílice en solución
Hornblenda, Augita y Biotita	Silicatos de Al, con Fe, Mg, Ca	Arcilla, Calcita, Limonita, Hematita, Carbonatos solubles, Cuarzo dividido, Sílice en solución
Anortita y Albita	$\text{Ca} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$ y $\text{Na} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	Arcilla, Cuarzo dividido, Calcita
Ortoclasa	$\text{K} (\text{Al Si}_3 \text{O}_8)$	Arcilla, Carbonato de K soluble
Cuarzo	SiO_2	Granos de Cuarzo y algo de Sílice en solución

Tabla 1.3. SUELOS FINOGRANULARES: IDENTIFICACIÓN MANUAL

Nombre descriptivo	Resistencia en estado seco	Reacción a la dilatancia	Tenacidad del hilo plástico	Tiempo de asentamiento (P. dispersión)
Limo arenoso	Ninguna a muy baja	Rápida	Débil a friable	30seg a 60min
Limo	Muy baja a baja	Rápida	Débil a friable	15min a 60 min
Limo arcilloso	Baja a media	Rápida a lenta	Media	15min a varias hr
Arcilla arenosa	Baja a alta	Lenta a ninguna	Media	30min a varias hr
Arcilla limosa	Media a alta	Lenta a ninguna	Media	15min a varias hr

Arcilla	Alta a muy alta	Ninguna	Alta	Varias hr a días
Limo orgánico	Baja a media	Lenta	Débil a friable	15min a varias hr
Arcilla orgánica	Media a muy alta	Ninguna	Alta	Varias hr a días
Fuente: Peck, Hanson y Thornburn, 1974.				

DOCUMENTOS DE COMPLEMENTO ON LINE:

[Apuntes sobre suelos: algunas relaciones roca-mineral-suelo](#). Jaramillo Jaramillo, Daniel Francisco (1987)

[Colombia tropical, ¿y el agua qué?](#) – Duque Escobar, Gonzalo (2020). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[El Intemperismo](#) - Duque Escobar, Gonzalo (2014). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia](#). Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) Universidad Nacional de Colombia. Manizales

[Geomecánica de las laderas de Manizales](#). Duque Escobar, Gonzalo; Duque Escobar, Eugenio; Murillo López, Cristina (2009) Foro "Gestión del Riesgo por Inestabilidad de Terrenos en Manizales" Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 13 de agosto de 2009.

[Geomorfología](#) – Duque Escobar, Gonzalo (2014). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Geotecnia para el trópico andino](#). Escobar Potes, Carlos Enrique; Duque Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

[Minerales](#) - Duque Escobar, Gonzalo (2014). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[ROCAS ÍGNEAS](#) – Duque Escobar, Gonzalo (2014). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[ROCAS METAMÓRFICAS](#) – Duque Escobar, Gonzalo (2014). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[ROCAS SEDIMENTARIAS](#) – Duque Escobar, Gonzalo (2014). Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Túnel Manizales](#). Duque Escobar, Gonzalo; Duque Escobar, Eugenio (2010) Ponencia presentada en el XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, Sociedad Colombiana de Geotecnia-U.N. De Colombia. Manizales 2010.

	MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. Duque Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia (2020). See more at: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145

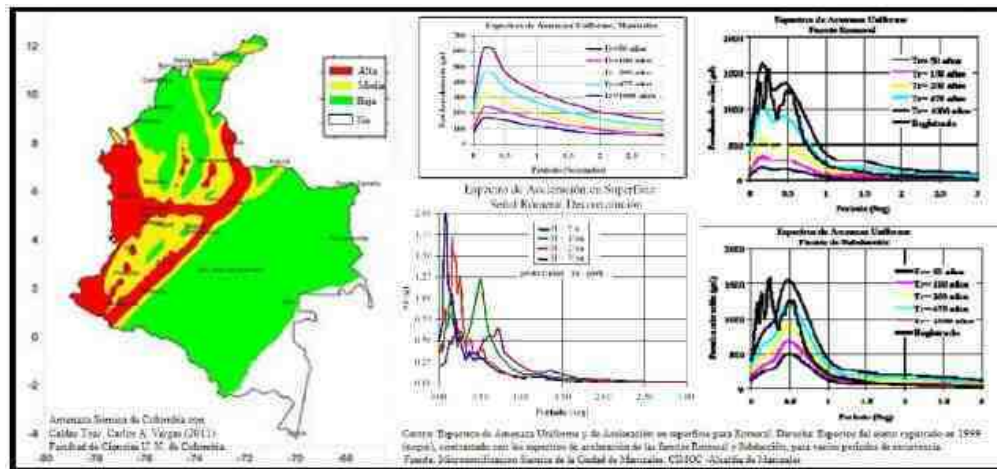
LECTURA 1- VULNERABILIDAD DE LAS LADERAS DE MANIZALES



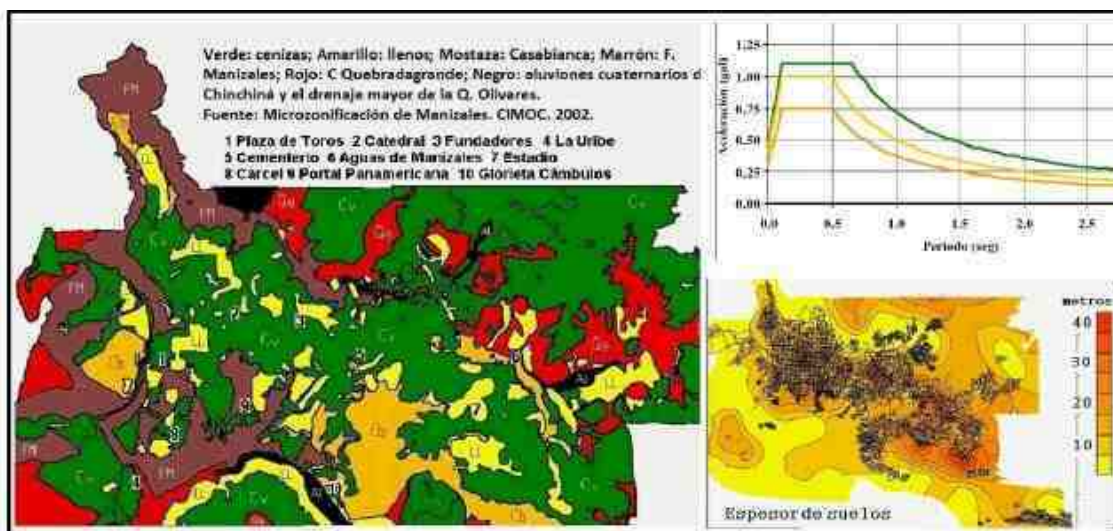
Portada: Laderas de Manizales en <http://revistainvi.uchile.cl> y <http://agenciadenoticias.unal.edu.co>

En el POT, se deben considerar ajustes en el factor de seguridad de las laderas, teniendo en cuenta además de los resultados de la microzonificación sísmica desarrollada por el CIMOC que invitan a contemplar el efecto de amplificación de los suelos, los cambios en la amenaza climática donde el período de los eventos extremos se ha acortado de forma sustantiva.

- Respecto a la amenaza sísmica, véanse las siguientes imágenes: Mapa no oficial de Amenaza Sísmica para Colombia según Carlos A. Vargas, en UN Periódico (2011), y Litología y Suelos, y Espectros de la Microzonificación Sísmica para Manizales, del CIMOC (2002).



El mapa propone reconsiderar la distribución de las zonas de amenaza sísmica de Colombia, en el centro se sugiere como evento sísmico de diseño para Manizales un evento con período $T_r = 475$ años (azul), y a la derecha el espectro de amenaza permite inferir que la fuente sísmica del Sismo del Quindío de 1999 fue Subducción y no Romeral y que el período de retorno del evento fue $T_r = 750$ años aprox. Fuente: mapa de Amenaza Sísmica de Colombia con aportes de Caldas Tear por Carlos Vargas UN, y Espectros del CIMOC Manizales 2002.



Variación espacial de las formaciones superficiales y espesor de suelos en la ciudad, y espectros de diseño en función de los suelos de la ciudad, según sean ellos suelo blando, semi-blando o duro. Fuente; CIMOC Manizales 2002.

2- En cuanto a la amenaza hidrometeorológica, conforme los períodos de retorno de los eventos extremos T_r se han acortado por el calentamiento global, también el riesgo R se ha incrementado, tal cual lo ilustra la tabla de Valoración del Riesgo adjunta, donde el riesgo pasa de 0,63 a 0,98 cuando el período de retorno T_r de una amenaza pasa de 100 años a 25 años, incidiendo sobre una obra cuya vida útil n es de 100 años.

Valores de R		n= Vida útil de una obra						
$T_r =$ Período de retorno de la amenaza	Años	10	25	50	100	250	500	1000
	10	0,65	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	25	0,34	0,64	0,87	0,98	1,00	1,00	1,00
	50	0,18	0,40	0,64	0,87	0,99	1,00	1,00
	100	0,10	0,22	0,39	0,63	0,92	0,99	1,00
	250	0,04	0,10	0,18	0,33	0,63	0,87	0,98
	500	0,02	0,05	0,10	0,18	0,39	0,63	0,86
	1000	0,01	0,02	0,05	0,10	0,22	0,39	0,63

Tabla para la Valoración del Riesgo en función del período de las Amenazas T_r y la vida útil de una obra n . $R=1-(1-1/T_r)^n$

Como fundamento, en la fórmula para estimar R , el factor $1/T_r$ es la probabilidad temporal del evento, así se trate de lluvias o de sismos. Las obras se diseñan del lado de la falla, donde $R > 50\%$, pues de lo contrario la ciudad no sería viable: obsérvese los valores de la diagonal.

Igualmente, la tabla permite inferir cómo con la tala y los modelados se ha comprometido el factor de seguridad de largo plazo de nuestras frágiles laderas, dado que para valores elevados de n el valor del riesgo con eventos extremos es uno.

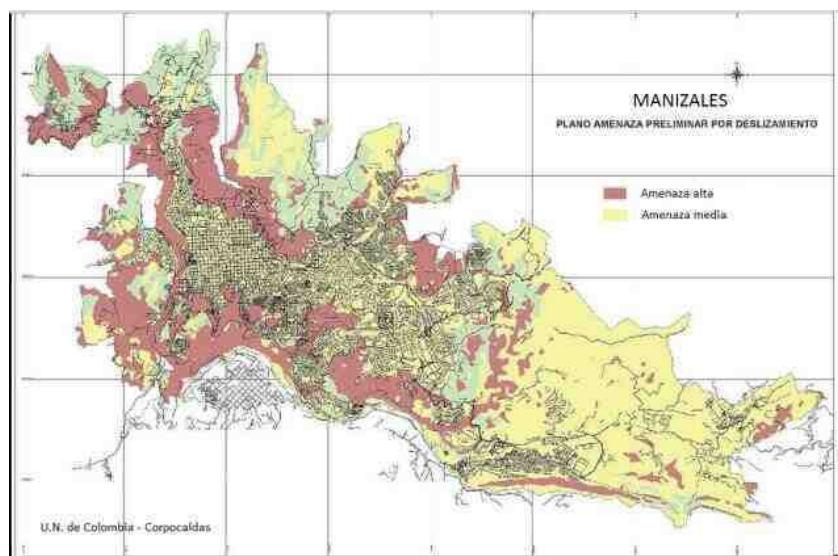


Ladera del sector El Cable en Manizales. Fuente: <http://geotecnia-sor.blogspot.com.co>

Véase en el talud de la fotografía, cómo la presencia de las cenizas volcánicas que aparecen por debajo de un suelo orgánico (sobre el cual hay un depósito antrópico), dan testimonio de la estabilidad a largo plazo de una ladera ligeramente inclinada. Al respecto, si la formación de una capa orgánica de tan solo 10 cm de espesor en este clima y a esta altitud, puede tardar un siglo, las cenizas que subyacen el horizonte orgánico y que probablemente provienen de Cerro Bravo, se remontan a decenas de miles de años.

Como conclusión, si las laderas de fuerte pendiente del trópico andino poseen un factor de seguridad de largo plazo igual a uno, con los modelados y con la deforestación se ha vulnerado ese frágil equilibrio límite de estabilidad. De ahí la importancia de: a- prevenir la separación de costos y beneficios en la explotación del suelo que subyace en la construcción de viviendas de interés social; b- controlar el modelo de expansión del suelo que especula con la plusvalía urbana; c- ajustar los factores de seguridad para responder a las condiciones sísmicas de la ciudad y a los eventos climáticos extremos; y d- implementar la plusvalía urbana para hacer viable un POT que pueda llevar infraestructura ambiental para asegurar zonas ya intervenidas, y atender así las demandas socioambientales asociadas con la fragilidad del medio.

—

Mapa de Complemento:

Véase en rojo cómo las zonas de mayor susceptibilidad a los deslizamientos en Manizales, coinciden con las laderas de fuerte pendiente de la ciudad. Mapa Preliminar de Amenazas por Deslizamiento UN- Corpocaldas.

REFERENCIA: Presentación ante la Comisión Cuarta del Concejo de Manizales, del Jueves 11 de Mayo de 2017. Gonzalo Duque Escobar.

ENLACES COMPLEMENTARIOS

Agua como bien público. Al Bahareque le Fue Muy Bien. Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón. Cambio Climático en Caldas – Colombia. Clima extremo, desastres y refugiados. Daño a reserva forestal que protege a Manizales. Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial.	El Paisaje Cultural Cafetero. El Río Grande en la Audiencia Ambiental Caribe de la PGN 2020. El desastre en el río Mira. El modelo de ocupación urbano – territorial de Manizales. El siniestro de Mocoa, diseño de la imprevisión. Gestión ambiental del riesgo en el territorio.	La encrucijada ambiental de Manizales. La historia del Cerro Sancancio. Sismos y volcanes en Colombia. Sismo, bahareque y laderas. Templanza y solidaridad frente al desastre. Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo.

CAPÍTULO 2

RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO

Introducción

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida son las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida²); la líquida por el agua (libre), aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.).

Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el volumen de vacíos (V_v), mientras que la fase sólida constituye el volumen de sólidos (V_s).

Se dice que un suelo está totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular de solo dos fases, la sólida y la líquida.

Es importante considerar las características morfológicas de un conjunto de partículas sólidas, en un medio fluido: eso es el suelo.

Las relaciones entre las diferentes fases constitutivas del suelo (fases sólida, líquida y gaseosa), permiten avanzar sobre el análisis de la distribución de las partículas por tamaños y sobre el grado de plasticidad del conjunto.

En los laboratorios de mecánica de suelos se determina fácilmente el peso de la muestra húmeda, el peso de la muestra secada al horno, el volumen de la muestra y la gravedad específica de las partículas que conforman el suelo, entre otras.

Las relaciones entre las fases del suelo tienen una amplia aplicación en la Mecánica de Suelos para determinar la masa de un suelo, la magnitud de los esfuerzos aplicados al suelo por un cimiento y los empujes sobre estructuras de contención.

La relación entre las fases, la granulometría y los límites de Atterberg se utilizan para clasificar los suelos, permitiendo, además estimar su comportamiento.

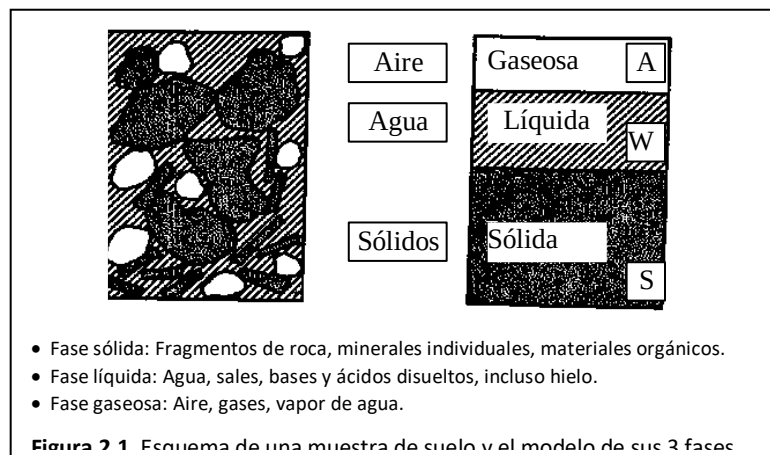


Figura 2.1 Esquema de una muestra de suelo y el modelo de sus 3 fases

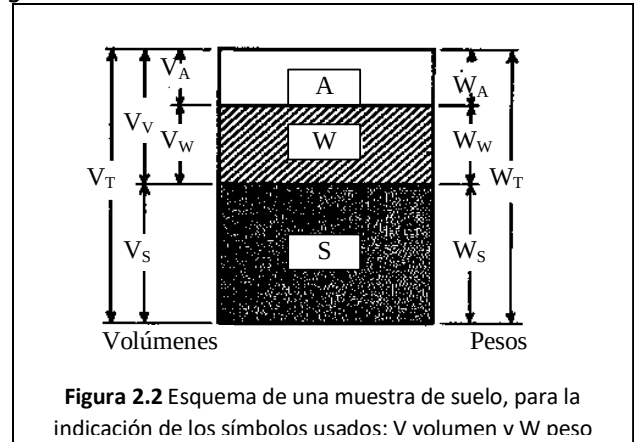
² **Agua adsorbida:** La que se encuentra en una masa de suelo o roca, íntimamente ligada a las partículas sólidas por efecto de las fuerzas electro-químicas, y cuyas propiedades pueden diferir de las propiedades del agua en los poros a la misma presión y temperatura, debido a la alteración de la distribución molecular. El agua adsorbida no puede ser removida por calentamiento a 110°C. (Geotecnia, diccionario básico, Fabián Hoyos Patiño. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, 2001).

Modelar el suelo es colocar fronteras que no existen. El suelo es un modelo discreto, y eso entra en la modelación con dos parámetros, e y η (relación de vacíos y porosidad), y con la relación de fases.

El agua adherida a la superficie de las partículas o "agua adsorbida" se considera como de la fase sólida. En la fase líquida se considera el agua libre que se puede extraer por calentamiento a temperatura de 105 °C cuando, después de 18 o 24 horas, el peso del suelo no disminuye más y permanece constante.

(1) Fases, volúmenes y pesos

En el modelo de fases, se separan volúmenes (V) y pesos (W) así: Volumen total (V_T), volumen de vacíos (V_v), que corresponde al espacio no ocupado por los sólidos; volumen de sólidos (V_s), volumen de aire (V_A) y volumen de agua (V_w). Luego



$$V_T = V_v + V_s \quad (2.1)$$

y

$$V_v = V_A + V_w \quad (2.2)$$

En los pesos (que son diferentes a las masas), el peso del aire se desprecia, por lo que $W_A = 0$. El peso total del espécimen o de la muestra (W_T) es igual a la suma del peso de los sólidos (W_s) más el peso del agua (W_w); esto es

$$W_T = W_s + W_w \quad (2.3)$$

(2) Relaciones de volumen: η , e , D_R , S , C_A

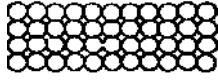
Porosidad η .

Es una relación, expresada como un porcentaje, entre: a) el volumen de espacios vacíos de un suelo, y b) el volumen total de la muestra. O sea es la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total. Por eso $0 < \eta < 100\%$ (se expresa en %). En un sólido perfecto $\eta = 0$; en el suelo $\eta \neq 0$ y $\eta \neq 100\%$.

$$\eta = \frac{V_v}{V_T} * 100(\%) \quad (2.4)$$

Relación de vacíos e.

Es una relación entre: a) el volumen de espacios vacíos, y b) el volumen de las partículas sólidas en una masa de suelo. Su valor puede ser menor a 1, y puede alcanzar valores muy altos.

	Estado más suelto. $\eta = 47,6\%$; $e = 0,91$
	Estado más compacto. $\eta = 26\%$; $e = 0,35$

En teoría $0 < e \rightarrow \infty$.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.5)$$

El término compactación se refiere al grado de acomodación alcanzado por las partículas del suelo dejando más o menos vacíos entre ellas. En suelos compactos, las partículas sólidas que lo constituyen tienen un alto grado de acomodación y la capacidad de deformación bajo la aplicación de cargas será pequeña. En suelos poco compactos el volumen de vacíos y la capacidad de deformación serán mayores. Una base de comparación para tener la idea de la compactación alcanzada por una estructura simple se tiene estudiando la disposición de un conjunto de esferas iguales. En la figura 2.3 se presenta una sección de los estados más suelto y más compacto posible de tal conjunto. Pero estos arreglos y los cálculos matemáticos son teóricos.

Los parámetros adicionales η y e (siempre $\eta < e$), se relacionan así: como V_v/V_s es la relación de vacíos, entonces:

$$\eta = \frac{V_v}{V_s} \times 100\%$$

Con la práctica, para suelos granulares, los valores típicos son:

Arena bien gradada	$e = 0,43 - 0,67$	$\eta = 30 - 40\%$
Arena uniforme	$e = 0,51 - 0,85$	$\eta = 34 - 46\%$

Densidad relativa D_R . (Compacidad relativa)

Es la medida de la compactación de un suelo dada por la relación porcentual entre: a) la diferencia de la relación de vacíos de un suelo no cohesivo en su estado más suelto y cualquier relación de vacíos del suelo compactado, y b) la diferencia entre relaciones de vacíos en su estado más suelto y más denso. Este parámetro permite determinar si un suelo está cerca o lejos de los valores máximo y mínimo de densidad que se puede alcanzar.

Además $0 \leq D_R \leq 1$, siendo más resistente el suelo cuando $D_R \approx 0$ y menor cuando $D_R \approx 1$. Algunos textos expresan D_R en función de γ_d .

Generalmente, los suelos cohesivos tienen mayor proporción de vacíos que los granulares.

Grado de saturación (S).

Se define como el grado o la proporción en que los espacios vacíos de un suelo o una roca contienen fluido (agua, petróleo). Se expresa como un porcentaje en relación con el volumen total de vacíos. Es la relación porcentual entre el volumen de agua en una masa de suelo o roca, y el volumen total de espacios vacíos. Por lo que $0 \leq S \leq 100\%$. Físicamente en la naturaleza $S \neq 0\%$, pero admitiendo tal extremo, $S = 0\% \Rightarrow$ suelo seco y $S = 100\% \Rightarrow$ suelo saturado.

Contenido de humedad: ω

Es la cantidad relativa de agua que se encuentra en un suelo respecto a la masa de sólidos o al volumen del suelo analizado. Se expresa en porcentaje (%), y es la relación entre el peso del agua del espécimen, y el peso de los sólidos. El problema es ¿cuál es el peso del agua? Para tal efecto se debe señalar que existen varias formas de agua en el suelo. Unas requieren más temperatura y tiempo de secado que otras, para ser eliminada. En consecuencia, el concepto "suelo seco" también es arbitrario, como lo es el agua que se pesa en el suelo de la muestra. El suelo seco es el que se ha secado al horno, a temperatura de $105^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}$, durante 18 o 24 horas, hasta lograr un peso constante.

El valor teórico del contenido de humedad varía entre: $0 \leq \omega \rightarrow \infty$. En la práctica, las humedades varían de 0 (cero) hasta valores del 100%, e incluso de 500% ó 600%, en suelos del valle de México.

NOTA: En compactación se habla de humedad (ω) óptima, la humedad de mayor rendimiento, con la cual la densidad del terreno alcanza a ser máxima. En la Figura 14.1, puede observar dos curvas de compactación para un mismo material, dependiendo el valor de la humedad óptima de la energía de compactación utilizada para densificar el suelo.

Relaciones Gravimétricas. Una masa de 1 Kg pesa distinto en la luna que en la tierra. El peso es fuerza, la masa no. La densidad relaciona masa y volumen, el peso unitario relaciona peso y volumen y la presión, fuerza y área.

El valor de la gravedad en la tierra es $g = 9,81 \text{ m/sg}^2 = 32,2 \text{ ft/seg}^2$

El peso unitario del agua es $62,5 \text{ lb/ft}^3 = 9,81 \text{ KN/m}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$ (si $g = 1$)

En presión $1 \text{ lb/ft}^2 = 47,85 \text{ N/m}^2 = 47,85 \text{ Pa}$.

$1 \text{ lb/m}^2 = 6,90 \text{ KPa}$ y $1 \text{ ft de agua} \approx 2,99 \text{ KPa}$

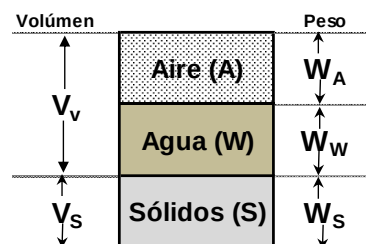
Peso unitario de referencia (γ_0)

El peso unitario de referencia γ_0 es el del agua destilada y a 4 °C.

$\gamma_0 = 9,81 \text{ KN/m}^3 \approx 1,00 \text{ Ton/m}^3 = 62,4 \text{ lb/ft}^3 = 1,0 \text{ gr/cc}$ (para $g = 1\text{m/seg}^2$). Este es el resultado de multiplicar la densidad del agua por la gravedad, dado que densidad es masa sobre volumen y que peso es el producto de la masa por la gravedad.

Peso unitario del suelo.

Es el producto de su densidad por la gravedad. El valor depende, entre otros, del contenido de agua del suelo. Este puede variar desde el estado seco γ_d (fórmula 2.11) hasta el saturado γ_{sat} (fórmula 2.14), y el estadio intermedio supone valores de S (grado de saturación) entre 0 y 1,0, dependiendo del mayor o menor contenido de humedad del suelo. Queda establecido entonces que el concepto difiere del de densidad y también que:



$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \quad (2.11) \quad \text{y} \quad \gamma_{sat} = \frac{W_{Sat}}{V_T} \quad (2.12); \quad \gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \quad (2.13) \quad \gamma_T = \frac{W_T}{V_T} \quad (2.14)$$

Se presentan algunos valores del peso unitario seco de los suelos de interés, dado que no están afectados por el peso del agua contenida, sino por su estado relativo de compacidad, el que se puede valorar con la porosidad.

Descripción	η %	γ_d g/cm^3
Arena limpia y uniforme	29 – 50	1,33 – 1,89
Arena limosa	23 – 47	1,39 – 2,03
Arena micácea	29 – 55	1,22 – 1,92
Limo INORGÁNICO	29 – 52	1,28 – 1,89
Arena limosa y grava	12 – 46	1,42 – 2,34
Arena fina a gruesa	17 – 49	1,36 – 2,21

Tabla 2.1 Valores de η y γ_d para suelos granulares (MS Lambe).

En el suelo el peso de los sólidos (W_s) es prácticamente constante, no así el peso del agua (W_w) ni el peso total (W_T). Además se asume que, siendo la gravedad específica (G_s) un invariante, no se trabaja nunca con ω sino con su equivalente, que equivale a $G_s \times \gamma_w$.

Los suelos bien compactados presentan pesos unitarios (γ_d) entre 2,20 y 2,30 g/cm³, para gravas bien gradadas y gravas limosas. En la zona de Caldas, las cenizas volcánicas presentan pesos unitarios húmedos (γ_T) entre 1,30 y 1,70 gr/cm³.

Peso unitario sumergido γ' .

Esto supone considerar el suelo saturado y sumergido. Al sumergirse, según Arquímedes, el suelo experimenta un empuje hacia arriba, igual al peso del agua desalojada.

$$\gamma' = \frac{W_{sat} - W_w}{V_T} = \frac{W_{SAT} - V_T * \gamma_w}{V_T} = \gamma_{SAT} - \gamma_w$$

Entonces:

$$\gamma' = \gamma_{SAT} - \gamma_w$$

Es la situación de la masa de suelo bajo el nivel de agua freática (NAF) del terreno.

Gravedad específica.

La gravedad específica es la relación del peso unitario de un cuerpo referida a la densidad del agua en condiciones de laboratorio y por lo tanto a su peso unitario γ_0 . Se puede considerar para este parámetro, la muestra total (G_T) pero el valor no tiene ninguna utilidad, la fase sólida (G_s) que es de vital importancia por describir el suelo y la fase líquida (G_w), que se asume igual a 1,00, por ser la γ_w la misma del agua en condiciones de laboratorio. En cualquier caso, el valor de referencia es γ_0 , pero $\gamma_0 \approx \gamma_w$. En geotecnia sólo interesa la gravedad específica de la fase sólida del suelo, dada por $G_s = \gamma_s / \gamma_w$ pero referida al peso unitario de la fase líquida del suelo γ_w , para efectos prácticos.

Los valores típicos de la gravedad específica, están asociados a los valores de los minerales constituyentes de la fase sólida del suelo, son: Gravas 2.65 a 2.68; Arenas 2.65 a 2.68; Limos 2.66 a 2.70 y arcillas 2.68 a 2.80. En general los suelos presentan valores de G_s comprendidos entre 2,5 y 3,1 (adimensional).

$$G_T = \frac{\gamma_T}{\gamma_w}; \quad G_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_w}; \quad G_w = \frac{\gamma_w}{\gamma_0} \quad (2.16)$$

Una relación básica que permite vincular ω , S , e G_s es:

$$\frac{W_w}{W_s} = \frac{V_w \times \gamma_w}{V_s \times \gamma_w \times G_s} \quad (G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s} \times \frac{1}{\gamma_0})$$

$$\frac{W_w}{W_s} = \frac{V_w}{V_v} \times \frac{V_v}{V_s} \times \frac{1}{G_s} \quad (\text{Suprimo } \gamma_w \text{ e introduzco } V_v/V_s)$$

$$\omega = \frac{S \times e}{G_s}$$

$$G_s \times \omega = S \times e \quad (2.17)$$

Otra relación fundamental surge de:

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{W_s \left[1 + \frac{W_w}{W_s} \right]}{V_s \left[1 + \frac{V_v}{V_s} \right]} \Rightarrow \gamma_T = \frac{G_s(1+\omega)}{(1+e)} \gamma_w \quad (2.18)$$

Obsérvese que no se escribió γ_s sino $G_s \times \gamma_w$. Ahora, se sustituyen $G_s \omega$ por $S \times e$

$$\gamma_T = \left[\frac{G_s + S \times e}{1+e} \right] \times \gamma_w \quad (2.19)$$

$$\gamma_T = \left[\frac{G_s + S \times e}{1+e} \right] \times \gamma_w \Rightarrow \text{Si } S = 1 \Rightarrow \gamma_{\text{sat}} = \gamma \quad (2.20)$$

(saturado)

$$\Rightarrow \text{Si } S = 0 \Rightarrow$$

$$\gamma_{\text{seco}} = \gamma \quad (2.21)$$

((seco))

Dos relaciones deducibles, útiles en geotecnia, al analizar resultados de compactación son:

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{W_S}{V_T} \left[1 + \frac{W_W}{W_S} \right] \Rightarrow \quad (2.22)$$

y de la suma de volúmenes:

$$V_T - V_A = V_S + V_W ; \left(\text{pero: } G_S = \frac{\gamma_S}{\gamma_w} = \frac{W_S}{V_S} \times \frac{1}{\gamma_w} \right) \text{ entonces, al transformar volúmenes en pesos se tiene :}$$

$$V_T \left[1 - \frac{V_A}{V_T} \right] = \frac{W_S}{G_S \times \gamma_w} + \frac{W_W}{\gamma_w} = \frac{W_S}{G_S \times \gamma_w} \left[1 + \frac{W_W}{W_S} \right] \text{ luego, al dividir peso por volumen para obtener } \gamma_d$$

$$\frac{W_S}{V_T} = \frac{G_S \left[1 - \frac{V_A}{V_T} \right]}{\left[1 + G_S \frac{W_W}{W_S} \right]} \gamma_w \Rightarrow \quad \gamma \quad \gamma \quad (2.23)$$

Cuando el suelo está seco, no hay agua, $V_A = V_v$ y ω es cero.

(3) Diagramas de fases con base unitaria

a) Podemos obtener $\gamma_T = f(e)$ haciendo $V_S = 1$ en el gráfico. Así, necesariamente

$$V_v = e ; \left(e = \frac{V_v}{V_S} \right)$$

$$(\text{Recuérdese que } \omega = \frac{W_W}{W_S}, \quad W_S = G_S * V_S * \gamma_w) \text{ Además el Volumen total, } V_T = e + 1$$

Después de asumir el volumen de sólidos y de vacíos, se procede a calcular los pesos de los sólidos (S), del agua (W) y total.

$$\begin{aligned} W_S &= G_S * \gamma_w, \quad W_W = \omega * G_S * \gamma_w \\ \gamma_T &= \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_S + V_W} = \frac{G_S * \gamma_w + \omega * G_S * \gamma_w}{1 + e} \\ &= \frac{G_S * \gamma_w (1 + \omega)}{(1 + e)} \end{aligned}$$

b) Para obtener $\gamma_T = f(\eta)$: se procede a realizar el cálculo en forma similar, asumiendo $V_T = 1$, en el gráfico. Así, necesariamente $V_V = \eta$ ya que $\left(\eta = \frac{V_V}{V_T}\right)$ y $V_S = 1 - \eta$

Calculados los volúmenes, se procede a obtener los pesos del suelo, apoyado en la expresión γ_S ; luego se calcula el peso del agua (W_w), para determinar la humedad (ω).

Volúmen		Peso
$\begin{array}{c} \uparrow \\ V_V = \eta \\ \downarrow \end{array}$	Aire (A)	$W_A = 0$
	Agua (W)	$W_W = \omega \times G_S \times \gamma_w (1 - \eta)$
$V_S = 1 - \eta$	Sólidos (S)	$W_S = G_S \times \gamma_w (1 - \eta)$

$$W_S = (1 - \eta) * G_S * \gamma_w ; W_W = \omega(1 - \eta) * G_S * \gamma_w$$

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T}$$

$$= \frac{(1 - \eta) * G_S * \gamma_w + \omega * (1 - \eta) * G_S * \gamma_w}{1}$$

$$\gamma_T = G_S \times \gamma_w \times (1 - \eta) \times (1 + \omega) \quad (2.24)$$

NOTA: En los diagramas unitarios existen 3 posibilidades: V_S , V_T y $W_S = 1$; con la tercera se obtienen resultados en función de la relación de vacíos como los del caso a). Además, se puede hacer cálculos, igualmente fáciles con diagramas unitarios en dos fases, para suelo seco o para suelo saturado.

Tabla 2.2- PESOS UNITARIOS EN SUELOS

Denominación	PU en gr/cm3
Muy bajo	< 1,4
Bajo	1,4 a 1,7

Moderado	1,7 a 1,9
Alto	1,9 a 2,2
Muy alto	>2,2

Tabla 2.3- GRADOS DE SATURACIÓN EN SUELOS

Denominación	Grado de saturación (%)
Seco	0 - 25
Húmedo	25 - 50
Muy húmedo	50 - 80
Altamente saturado	80 - 95
Saturado	95 - 100
Alberto J. Martínez Vargas, 1990	

Tabla 2.4- Contenido Orgánico de los suelos

Denominación	% de Materia orgánica		% de Materia orgánica
Muy bajo	0-1	Alto	4-8
Bajo	1-2	Muy alto	8-20
Medio	2-4	Kohnke, 1972	

EJERCICIOS.

Ejercicio 2.1.

A partir de los diagramas unitarios de dos fases, obtener la relación γ_{sat} en función de S , e , γ_w , y otra relación para obtener γ_d .

NOTA: Para resolver un problema de fases, se hace el esquema de los diagramas unitarios, haciendo V_T o $V_S = 1$, o en su defecto $W_S = 1$. Además, siempre se requieren 3 parámetros conocidos adicionales, uno por cada fase.

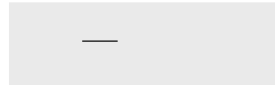
De la relación



En suelos saturados $S=1$ y se despeja ω



El peso del agua

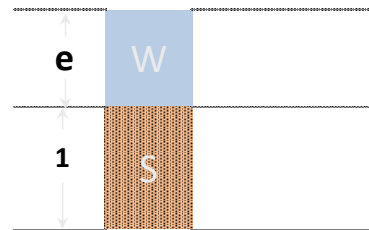


El peso del agua se obtiene al simplificar G_s y hacer $V_s=1$. Al hacer arreglos y factorizar se tiene



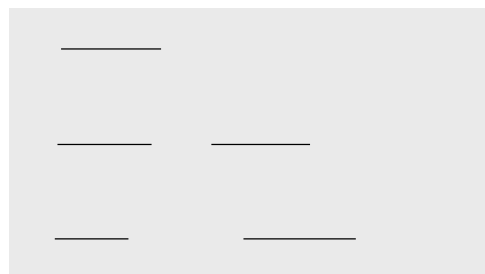
El peso unitario seco γ_d

En suelos secos el peso del agua es cero y en la hipótesis del problema $V_s=1$

**Ejercicio 2.2**

Una muestra de suelo en estado natural, pesa 62,1 gr, y seca al horno pesa 49,8 gr.

Determinado el peso unitario seco y la gravedad específica correspondientes, se obtienen los valores $\gamma_d = 1,39 \text{ gr/cm}^3$ y $G_s = 2,68$. Hallar e y S para el estado natural.

Solución

Ejercicio 2.3

Un suelo en estado natural tiene, $e = 0,80$; $\omega = 24\%$; $G_s = 2,68$. ¿Cuáles son las magnitudes del peso unitario natural, del peso unitario seco y del grado de saturación? Realizar los cálculos en el sistema internacional. ($g = 9,81 \text{ m/seg}^2$)

γ	γ	ω	
_____	_____	_____	_____
γ	γ		_____
_____	_____		_____
	ω		_____
	_____		_____

Para el caso anterior, calcular el peso unitario saturado.

_____	_____	_____
_____	_____	_____

Ejercicio 2.4

Calcular el contenido de humedad natural (ω) y el γ_{SAT} de una muestra saturada de suelo, cuyo diámetro ϕ es 3,80 cm y la altura h es 7,80 cm. El peso de la muestra es 142 gr, y seca es de 86 gr. ($g = 9,81 \text{ m/seg}^2$)

Masa de agua = $142\text{gr} - 86\text{gr} = 56 \text{ gr}$

Masa del suelo = 86 gr

ω	_____

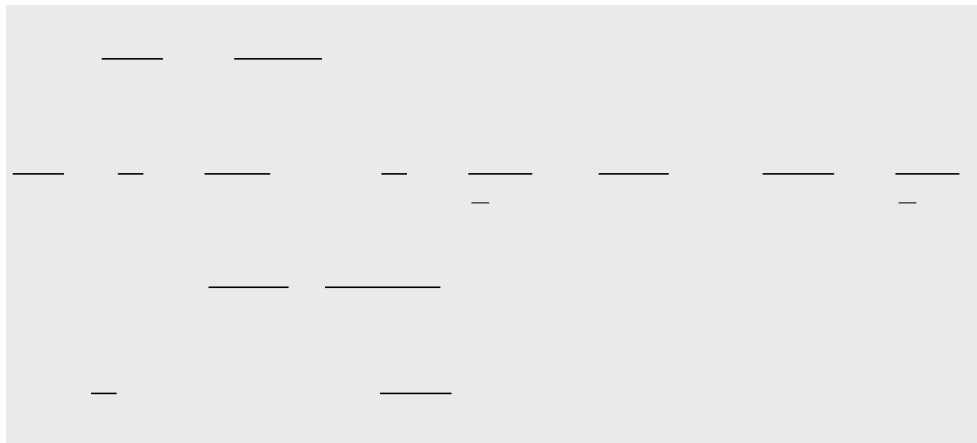
Peso del suelo saturado $w_{sat} = 142 \times 9,81 \times 10^{-6} = 0,0139 \text{ KN}$

Volumen del cilindro $V_T = \frac{1}{4} \pi \times 3,8^2 \times 7,8 \times 10^{-6} = 0,0008846 \text{ m}^3$



En el mismo problema calcule e , η y G_s .

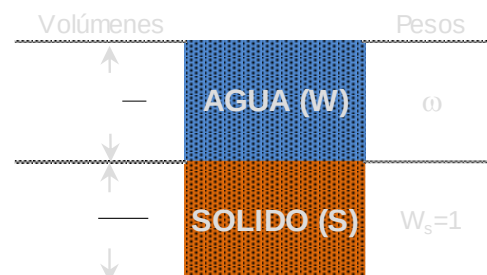
Reemplazo G_s , de la fórmula (2.17), en la (2.18)



Ejercicio 2.5

En un suelo saturado; dado $W_s = 1$ resolver el diagrama unitario y obtener γ_{sat} y γ'

$W_s = 1$



$$\gamma = \frac{\omega}{\gamma} \quad \frac{\omega}{\gamma} = \frac{\omega}{\gamma}$$

$$\gamma = \gamma \quad \frac{\omega}{\omega} = \gamma$$

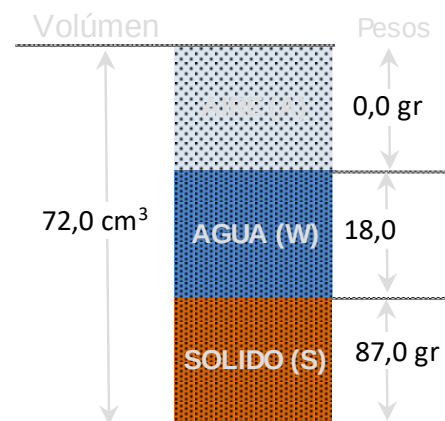
$$\gamma \quad \gamma \quad \gamma \quad \gamma \quad \frac{\omega}{\omega} \quad \gamma \quad \gamma$$

2.5 Problemas de clase

- (4) Una muestra pesa en estado húmedo 105 gr, y en estado seco, 87 gr. Si su volumen es 72 cm^3 y la gravedad específica de los sólidos 2,65, calcule ω , e , γ_d , γ_T , γ_{SAT} y γ'

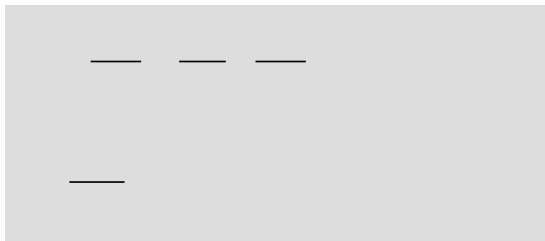
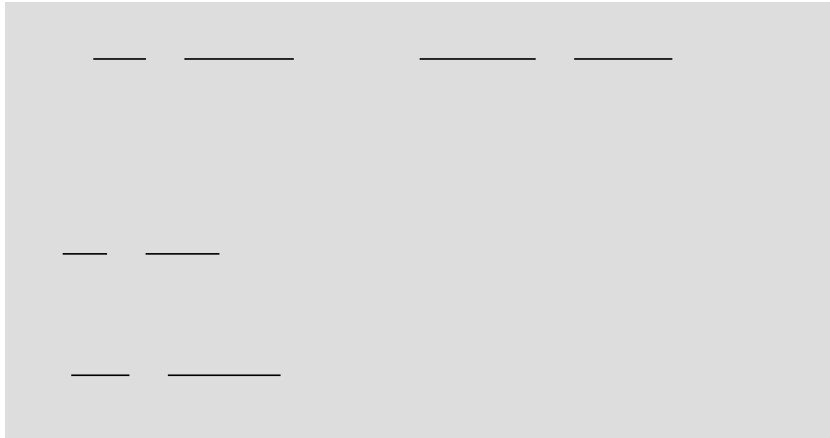
Solución:

Dados: $W_T = 105 \text{ gr}$
 $W_S = 87 \text{ gr}$
 $V_T = 72 \text{ cm}^3$
 $G_S = 2,65$
 $\gamma_W = 1 \text{ gr/cm}^3$



Como se involucra e , el modelo unitario conviene con $V_S = 1$

$$W_W = W_T - W_S = 105 - 87 = 18 \text{ gr.}$$

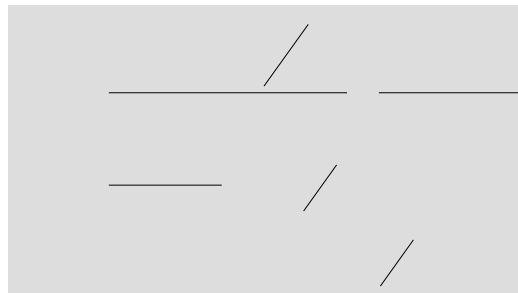


¿ V_w , V_s , V_v ?

$$S = \frac{V_w}{V_v} \left\{ \begin{array}{l} \gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \Rightarrow V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} \\ G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s} * \frac{1}{\gamma_w} \Rightarrow V_s = \frac{W_s}{G_s * \gamma_w} \\ e = \frac{V_v}{V_s} \Rightarrow V_v = e * V_s = \frac{e * W_s}{G_s * \gamma_w} \end{array} \right.$$



Cuando $S = 1 \Rightarrow \omega = e/G_s$



- (5) Se tiene una muestra de suelo con los siguientes resultados de laboratorio: $e = 0,8$; $\omega = 24\%$; $G_s = 2,68$; $\gamma_w = 62,4 \text{ lb/ft}^3$ ¿Se solicita calcular $\gamma_T, \gamma_d, \gamma_{SAT}$?

$$\gamma_T = \frac{G_s * \gamma_w (1 + \omega)}{(1 + e)} = \frac{2,68 * 62,4 (1 + 0,24)}{(1 + 0,8)} = 115,20 \text{ lb/ft}^3$$

$$\gamma_d = \frac{G_s * \gamma_w}{(1 + e)} = \frac{2,68 * 62,4}{(1 + 0,8)} = 92,91 \text{ lb/ft}^3$$

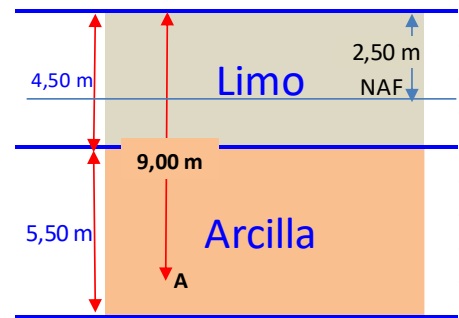
$$\gamma_{SAT} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{(1 + e)} = \frac{62,4 (1 + 0,24)}{(1 + 0,8)} = 120,64 \text{ lb/ft}^3$$

Recuerde que $\gamma_d \leq \gamma_T \leq \gamma_{SAT}$.

- (6) Se hizo la extracción de una muestra de un suelo arcilloso, en un perfil de un suelo conformado por un limo de 4,50 m de espesor y una arcilla de 5,50 m de espesor. La muestra de limo para

un ensayo de compresión no confinada tuvo una altura de 7,10 cm y el diámetro es de 3,05 cm; el peso de la muestra es de 98 gr, el peso de los sólidos es 75 gr y la gravedad específica de los sólidos es 2,82.

La muestra de arcilla para el ensayo de compresión no confinada tuvo una altura de 7,10 cm, el diámetro de 3,05 cm y su peso es 85 gr. El peso del suelo seco al horno es 72 gr y la gravedad específica de sólidos es 2,65. Se necesita determinar las presiones totales, de poro y efectiva de un punto "A" localizado a 9,00 m de profundidad. El nivel de aguas freáticas está a 2,50 m de profundidad.



H_{limo}	4,50	m						
H_{Arcilla}	5,50	m						
	Limo		ω	30,67	%	e	0,95	
h_m	7,10	cm	V_T	51,87	cm ³	γ_T	1,89	gr/cm ³
D_m	3,05	cm	γ_T	1,89	gr/cm ³	γ_{sat}	1,93	gr/cm ³
W_T	98,00	gr	V_S	26,60	cm ³			
W_S	75,00	gr	V_v	25,28	cm ³			
G_s	2,82							
	Arcilla		ω	18,06	%	e	0,91	
h_m	7,10	cm	V_T	51,87	cm ³	γ_T	1,64	gr/cm ³
D_m	3,05	cm	γ_T	1,64	gr/cm ³	γ_{sat}	1,86	gr/cm ³
W_T	85,00	gr	V_S	27,17	cm ³			
W_S	72,00	gr	V_v	24,70	cm ³			
G_s	2,65							

Presiones sobre el punto A				
H_{limo}	4,50	m	σ_{VA}	18,86 Ton/m ²
H_{Arcilla}	5,50	m	U_A	8,00 Ton/m ²
Z_{NAF}	2,00	m	σ'_{VA}	10,86 Ton/m ²

Problemas propuestos.

1. El peso unitario de un suelo es 1,62 gr/cm³, y la gravedad específica de los sólidos que lo conforman es 2,65. Determinar si el suelo está seco.
2. En una muestra saturada tiene una humedad de 11% y la gravedad específica de los sólidos es $G_s = 2,65$. Se solicita calcular e , γ_T , γ_{sat} y γ_d .
3. Una muestra de suelo se tiene $G_s=2,65$ y $e= 0,45$. Hallar γ_d y γ_{sat}

4. Un suelo seco tiene una relación de vacíos de 0,65 y la gravedad específica de los sólidos es 2,80. Hallar el peso unitario seco, el peso unitario saturado y el peso unitario sumergido.
5. A la muestra del problema anterior, se le agrega agua hasta lograr 60% de saturación, sin que varíe la relación de vacíos. Hallar la humedad de la muestra (ω) y el peso unitario total (γ_T)
6. Una muestra de suelo tiene un peso unitario de 1,90 gr/cm³, la gravedad específica de los sólidos es 2,69 y la humedad $\omega = 28\%$. Hallar e , n , S , γ_{sat} , γ_d .
7. Una muestra de suelo seco tiene $e = 0,80$ y $G_s = 2,80$. hallar γ_T , γ_{sat} y γ_d .
8. A la muestra del problema anterior, se le agrega agua hasta lograr $S = 55\%$, sin que varíe la relación de vacíos. Hallar ω y γ_T .

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE MANIZALES

1- Complejo Quebradagrande. Observaciones en La Sultana según Aquaterra.

Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo
Humedad natural -%	34,13	10,70	176,6
Límite Líquido -%	39,68	17,6	178,1
Límite Plástico -%	27,02	13,9	67,8
Índice Plástico -%	12,65	3,1	110,3
Compresión Inconfinada -t/m ²	9,94	5,54	18,28
Peso Unitario Húmedo -t/m ³	1,738	1,06	2,15
Cohesión t/m ²	2,98	0,30	4,90
Ángulo de Fricción - grados	31,92	28,16	35,67

Fuente: Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2004.

2- Formación Casabianca. Observaciones en Fundadores según Aquaterra.

Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo
Humedad natural -%	88,3	51,9	128,9

Límite Líquido -%	86,0	65,2	135,4
Límite Plástico -%	40,9	37,2	45,0
Índice Plástico -%	45,0	19,0	90,4
Índice de Liquidez -%	0,9	0,8	0,9
Peso Unitario Húmedo -t/m³	1,715	1,609	1,821
Peso Unitario Seco -t/m³	1,036	0,874	1,198
Compresión Inconfinada -t/m²	21,22	13,86	28,57
Penetración Estándar -Golpes /pie	17,0	15,0	19,0

Fuente: Estudio de Suelos para la Rehabilitación Estructural del Teatro Fundadores. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2003.

3- Supraterrenos de cobertura en Manizales

Parámetros geotécnicos para el rango de valores	Cenizas Volcánicas Unidad No Consolidada	Cenizas Volcánicas Unidad Consolidada	Suelos residuales de depósitos conglomeráticos
Peso Unitario Húmedo (t/m³)	1,5-1,7	1,33	1,5-1,9
Humedad Natural (%)	25-65	>80	30-80
Pasa 200 (%)	25-50	>70	5->90
Límite líquido (%)	30-70	>100	NP->80
Límite plástico (%)	20-50	>60	NP->50
Índice plástico (%)	5-30	>40	NP->40
SUCS	SM	MH	MH-ML-SM-SP
Cohesión (t/m²)	1-3	>4	1->4
Ángulo de fricción (°)	30-36	25-30	20-35
Permeabil (cm/día)	15-85	2-14	>20

Fuente: Francisco José Cruz Prada. Relaciones Lluvias Deslizamientos en la Ciudad de Manizales. Revista SCIA 48 años. Manizales 2004.

Fuentes de Complemento:

Consistencia del Suelo – Límites de Atterberg – Índices. Blog de Santiago Osorio R. <http://geotecnia-sor.blogspot.com.co/search/label/Indice%20de%20Liquidez>

El Agua en el Suelo. Blog de Santiago Osorio R. <http://geotecnia-sor.blogspot.com.co/search/label/Agua%20Capilar>

Geotecnia de Oleoductos en Colombia. GARCÍA LÓPEZ, Manuel; FRANCO LATORRE, R. In: VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, 1987, CARTAGENA. MEMORIAS VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. 1987. v.3. <http://manuelgarcialopez.blogspot.com>

Geotecnia para el trópico andino. Escobar Potes, Carlos Enrique and Duque Escobar, Gonzalo (2016) Book. (10 Book Section). U.N. de Colombia, Sede Manizales, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57334/geotecniaparaeltropicoandino.pdf>

Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera. Book. Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Ruben Darío and Ortiz Ortiz, Doralice (2014) Carder- Corporación Aldea Global, CARs Socias del Proyecto. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/62813/gobernanzaforestalencolombia-legalidadysostenibilidaddelaquadua.pdf>

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales. - See more at: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145>

Mecánica de los suelos. Book. (15 Book Section). Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2002) Universidad Nacional De Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3375>

Relaciones De Fase En La Ingeniería Geotécnica Moderna. Ing. Ricardo Rubén Padilla Velázquez. Prof. Facultad de Ingeniería, UNAM. <http://smig.org.mx/archivos/pdf/RelDeFase.pdf>

Túnel Manizales. Gonzalo Duque Escobar y Eugenio Duque Escobar (2006) Estudio de prefactibilidad de una conducción subterránea de 1850 m. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69926/gonzaloduqueescobar.20107.pdf?>

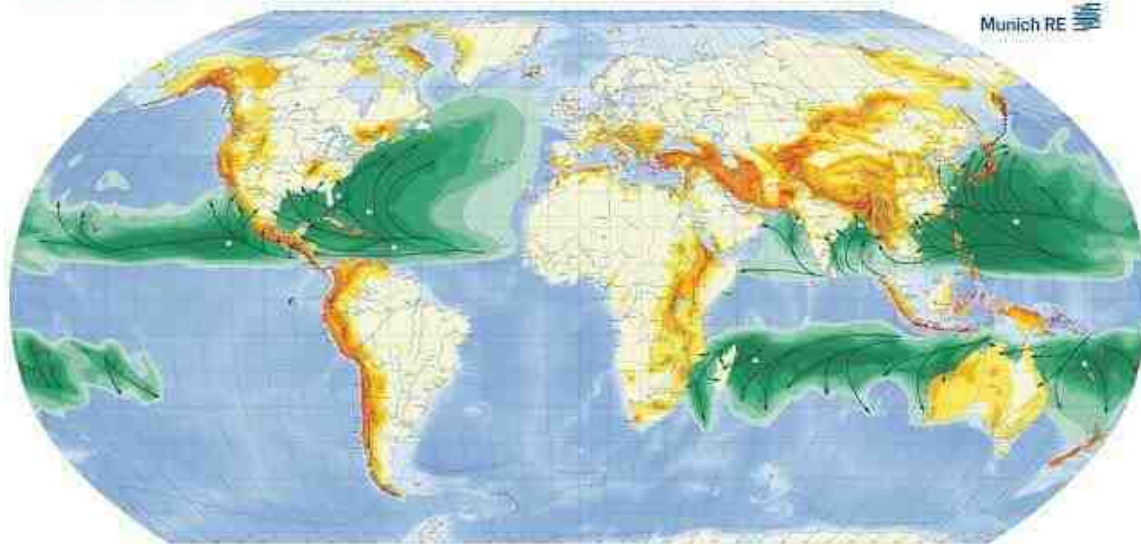
Geomecánica de las Laderas de Manizales. Gonzalo Duque Escobar y Eugenio Duque Escobar (2009). Foro "Gestión del Riesgo por Inestabilidad de Terrenos en Manizales". <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3174/gonzaloduqueescobar.200916.pdf>

Sismo, bahareque y laderas. Duque Escobar, Gonzalo (2009) Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/53823/sismobaharequeladeras.pdf>

Vulnerabilidad de las laderas de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2017) - See more at: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59283/Vulnerabilidaddelasladerasdemanizales.pdf>

LECTURA 2: HURACANES Y TERREMOTOS: ¿Y CÓMO ESTÁ COLOMBIA?

NATHAN WORLD MAP OF NATURAL HAZARDS



Rutas de Huracanes y Zonas Sísmicas del planeta, en <https://co.pinterest.com>

RESUMEN: Esta nota se ocupa de dos amenazas naturales de gran impacto que acechan en la región: los Huracanes y los Sismos. Primero, porque los fenómenos ciclónicos del Atlántico que dejan destrucción a su paso por el Caribe, también pueden impactar sobre el Archipiélago de San Andrés y Providencia, y generar lluvias intensas y fenómenos colaterales en el norte de Colombia. Y segundo, porque además de la amenaza por maremotos asociados a sismos originados en el fondo oceánico del entorno vecino, también nuestras fuentes sísmicas continentales pueden afectar los centros urbanos del país ubicados en zonas de riesgo sísmico alto y moderado.

Tras los desastres recientes en México, en el Caribe y en Estados Unidos es imperioso volver sobre las amenazas que afectan a Colombia y sobre las medidas que debemos adoptar para hacer frente a estos riesgos** Súmese a esto, el caso: **Huracán Iota: tifón que abate a San Andrés.**

Dos graves amenazas ambientales

Tanto los planificadores urbanos como las autoridades colombianas deben reflexionar con urgencia sobre las dos amenazas ambientales que –también para nosotros– representan los huracanes y los grandes terremotos.

La primera de estas amenazas, dado lo ocurrido con Irma, un huracán de categoría 5 que azotó el norte del Caribe y el sur de Estados Unidos entre el 30 de agosto y el 12 de septiembre pasados, con brazos de hasta 300 kilómetros de diámetro, y vientos máximos de 302 km/h, calificado como el más poderoso que ha sido registrado en el Atlántico. Irma cobró 37 vidas en el Caribe y 14 en Estados Unidos. La segunda amenaza, dado el sismo de magnitud 8,2 en la escala de Richter que sacudió México el viernes 8 de septiembre y al cual se sumaron cientos de réplicas debido al carácter superficial de este fenómeno telúrico, el cual cobró 98 vidas y afectó principalmente los estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco.

El estudio de los terremotos en áreas sismo-tectónicamente activas, que son vecinas a grandes urbes, y de las tormentas ciclónicas que surgen en los mares para llevar caos y destrucción a las ciudades

costeras, es tan antiguo como la humanidad misma, aunque en principio contaron con una explicación mítica relacionada con la ira de los dioses. Según la mitología griega, Tifón hijo de Gea, quien intentó destruir a Zeus en venganza por haber derrotado a los Titanes, además de erupcionar lava, creó los huracanes y los terremotos con el batir de sus enormes alas. Para los griegos -quienes fueron los primeros en dar una explicación natural a los terremotos-, dichos estremecimientos ocurrían cuando Poseidón, el dios de los mares, hacía tambalear a Atlas, quien recibió como castigo de Zeus sostener al mundo en sus hombros.



Daños por Sismo en Oaxaca, México ; y por Huracán Irma en San Martin, Antillas Menores . Fuente: Nationalgeographic.com

Vientos enfurecidos y sacudidas de la tierra

La ocurrencia de eventos climáticos extremos como los que ya se advierten a nivel global, es resultado del calentamiento del planeta, calentamiento que en los próximos cincuenta años aumentará la temperatura entre 1,5°C y 2,5°C según las características de las distintas regiones de la Tierra. Este calentamiento traerá desastres mayores: tormentas ciclónicas de mayor intensidad, lluvias inusuales, sequías severas, inundaciones, deslizamientos, incendios forestales, y degradación ambiental: pérdida de ecosistemas terrestres, elevación del nivel del mar y desaparición de los glaciares.

La intensidad de una tormenta ciclónica depende de la velocidad de sus vientos. Sus daños pueden variar de conformidad con la escala Saffir-Simpson -que califica el poder destructivo de los huracanes desde 1 a 5 cuando éste toca tierra-. Cuando la categoría es 1, hay inundaciones en zonas costeras y daños menores en zonas urbanas por vientos entre 119 y 153 kilómetros por hora y olas que pueden

llegar a 1,5 metros de altura. Cuando la categoría es 5, hay destrucción masiva de viviendas e infraestructuras con vientos sostenidos por encima de 250 kilómetros por hora, o por olas que pueden superar los 6 metros de altura.

Adicionalmente, durante las últimas décadas hemos presenciado desastres sísmicos mayores que han afectado a países en desarrollo. Esto no se debe a que en el mundo se estén presentando más terremotos, sino al acelerado crecimiento de la población residente en zonas sísmicas, de manera que la magnitud de los daños ha venido en aumento.

Ejemplo de lo anterior son las urbes latinoamericanas de los Andes, Centro América y en el Caribe, aquellas de la línea Alpes-Himalaya, y algunas ubicadas en el Pacífico asiático; este margen oceánico y las costas occidentales de las américas conforman el "Cinturón de Fuego del Pacífico", caracterizado por su intensa actividad sísmica y volcánica.

Países tan lejanos entre sí como Irán, Chile, Japón y Nueva Zelanda son particularmente vulnerables a esta actividad sísmica. Asimismo, la lista de grandes ciudades azotadas por la pobreza incluye a Estambul en Turquía, Karachi en Pakistán, Teherán en Irán, Katmandú en Nepal y Lima en Perú.

No obstante, no podemos descartar a Bogotá como posible escenario a pesar de encontrarse en una zona de amenaza sísmica intermedia, ya que podría sufrir el embate de movimientos tectónicos superficiales de mediana magnitud, partiendo de fuentes sísmicas vecinas relacionadas con pequeñas fallas locales, e incluso de grandes eventos no muy lejanos provenientes de mega-fallas activas como las del frente llanero o la Falla Salinas.

Refugiados y víctimas

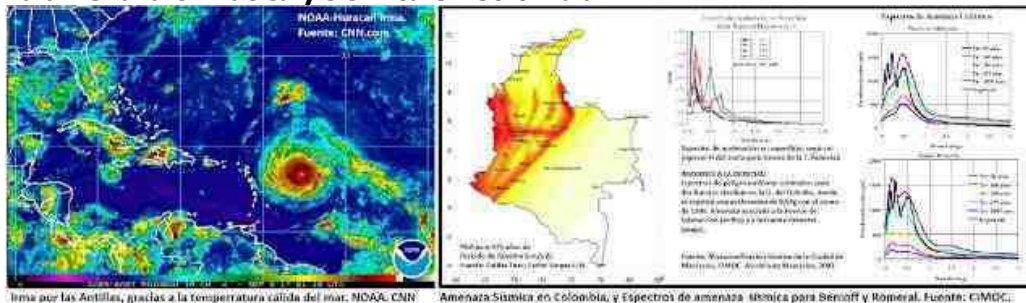
Entre 2003 y 2013, se registró una media de 388 desastres naturales al año que afectaron a 216 millones de personas y cobraron 106.654 vidas. Según el Consejo Noruego para los Refugiados, mientras las pérdidas económicas por los desastres naturales de los últimos 30 años tuvieron un valor medio anual de 130 mil millones de dólares, la posibilidad de tener desplazados ha aumentado en un 60 por ciento en cuarenta años.

Según el informe "Estado de la población mundial 2015, un refugio en la tormenta", en los últimos 20 años los damnificados por desastres naturales sumaron en promedio cerca de 200 millones por año, cifra que triplica los 65 millones anuales de víctimas de epidemias, adversidades tecnológicas y conflictos armados a nivel global.

A pesar de que la mayoría de los desplazamientos por desastres de origen sísmico y climático son internos y en ocasiones pueden cruzar fronteras, no existen instituciones que puedan mitigar su sufrimiento.

El cambio climático ha ocasionado más de 4.000 millones de heridos o damnificados en el mundo durante los últimos veinte años, ya que ha contribuido al desplazamiento humano acelerando sequías y la desertificación, al igual que la erosión costera y la salinización de aguas subterráneas y tierras de cultivo. Mientras las catástrofes de origen sísmico han cobrado la vida a más de un millón de personas desde principios del presente siglo.

La amenaza climática y sísmica en Colombia



Tras la erupción del Ruiz y la desaparición de Armero en 1985, el Gobierno instauró el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD) que institucionaliza la gestión del riesgo, ya que esa falencia gravitó como causa fundamental del desastre.

Inicialmente se diseñó una dependencia del Ministerio de Gobierno para atender las fases de emergencias, luego a raíz del terremoto del Eje Cafetero de 1999 se implementó la fase de reconstrucción, y finalmente tras las Niñas 2007/8 y 2010/11, el SNPAD pasó a un plano de mayor desarrollo organizacional al ocuparse también de la prevención y mitigación de los desastres, al tiempo que se creó el Fondo Nacional de Calamidades.

La gestión del riesgo para enfrentar los huracanes tiene un manejo distinto del de los terremotos, puesto que estos eventos tectónicos se presentan de forma súbita. Los huracanes son fenómenos climáticos donde intervienen gran número de variables de comportamiento aleatorio como vientos, temperatura y humedad, y que igualmente se aborda con pronósticos.

En Colombia el desafío está en estudiar de forma integral la amenaza climática, a pesar de que dicha tarea está a cargo del IDEAM y de que las sequías son poco frecuentes y los ciclones tienen incidencia marginal. La Oficina de Pronósticos y Alertas suele elaborar los avisos y boletines ambientales sobre huracanes para advertir sobre la posibilidad de lluvias intensas y marejadas con sus peligros colaterales.

Si bien lo anterior procede para el archipiélago de San Andrés y Providencia por ser nuestro lugar más comprometido en virtud de su latitud, para el caso de la Guajira la ocurrencia de las tormentas significa el advenimiento de lluvias esperadas para calmar la sed de la tierra.

Para los terremotos los factores principales del riesgo son: la influencia de las fuentes sísmicas y la caracterización de las provincias sismo-tectónicamente homogéneas. Allí deben considerarse la frecuencia, naturaleza y magnitud de los eventos, además de la vulnerabilidad física de las construcciones, asentamientos humanos expuestos en cada contexto, y variaciones en la respuesta dinámica del terreno, ya que los suelos blandos al igual que el relieve agravan la intensidad local del desastre.

En Colombia, además del mapa de sismicidad elaborado por la Red Sismológica Nacional se ha expedido la norma sísmica NSR-10 sobre diseño y construcción sismo resistente, instrumento que para el efecto aplica un período de retorno de 475 años.

También ha habido esfuerzos específicos en materia de microzonificación sísmica en las grandes ciudades y estudios sobre la tipología constructiva. Sin embargo, en muchas zonas de amenaza sísmica alta, falta abordar dicha labor; tal es el caso de las poblaciones ubicadas en fallas del sistema Cauca-Romeral, el Margen Llanero y de la región del Pacífico.

** Fuente: Gonzalo Duque Escobar, In: Razón Pública. Bogotá, 2017.09.18].

ENLACES U.N.:

Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales. Cambio climático y sustentabilidad del territorio. Ciencias Naturales & CTS. Clima extremo, desastres y refugiados. Dinámicas y contra rumbos del desarrollo urbano. El modelo de ocupación urbano – territorial de Manizales. El territorio caldense, un constructo cultural.	Huracán Iota: tifón que abate a San Andrés. Los guetos urbanos o la ciudad amable. Más espacio público para una ciudad sostenible e incluyente. Participación de la sociedad civil en el ordenamiento territorial. Reserva de Río Blanco: reflexiones para prevenir un ecocidio. Un país con grandes retos ambientales.

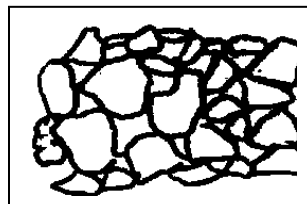
CAPÍTULO 3

ESTRUCTURA DEL SUELO Y GRANULOMETRÍA

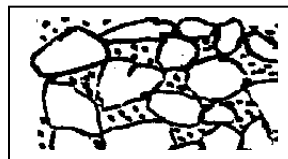
3.1 Características y estructura de las partículas minerales.

3.1.1 Relaciones fino – agregados

Los agregados sin finos, como los talus, presentan contacto grano a grano, el peso volumétrico es variable, es muy permeable. Estos materiales no son susceptibles a las heladas, presentan estabilidad alta cuando están confinados y estabilidad baja en estado no confinado. No es afectable por condiciones hidráulicas adversas y es de compactación difícil.



Los agregados con finos suficientes, presentan densidad más alta, contacto grano a grano e incremento de la resistencia mecánica. Son resistentes a la deformación, poseen mayor peso volumétrico y su permeabilidad es menor. Son susceptibles a las heladas. Relativa alta estabilidad (confinado o no confinado). No muy afectable por condiciones hidráulicas adversas. Compactación difícil.



Los agregados con gran cantidad de finos, es el caso de materiales coluviales: no se presenta el contacto grano a grano; los granos están dentro de una matriz de suelo fino; en este estado disminuye el peso volumétrico, son de permeabilidad baja, son susceptibles a las heladas, presenta baja estabilidad (confinado o no), y es afectable por condiciones hidráulicas adversas. No se dificulta su compactación.

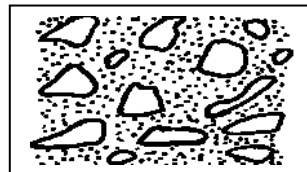


Figura 3.1 Depósitos de suelos transportados

Principales propiedades demandadas por el ingeniero.

El ingeniero civil debe identificar las propiedades de los suelos con el fin de evaluarlos en el momento de realizar las obras y lograr unas condiciones estables que garanticen la durabilidad y la estabilidad de las estructuras. Estas propiedades son evaluables en laboratorio.

1. **Estabilidad volumétrica:** Se refiere a lograr suelos con volúmenes constantes, frente a la aplicación de cargas o debido a los agentes como el agua o el secado. Los cambios de humedad afectan la estabilidad volumétrica y son las causas del levantamiento de pavimentos, la inclinación de postes, la rotura de tubos, los asentamientos de muros y la inestabilidad de taludes. La figura 3.2 presenta un talud conformado por suelo arcilloso, inestable por el secado.
2. **Resistencia mecánica:** Los suelos tienen una resistencia mecánica que permite la estabilidad de las estructuras que soporta o de los taludes. La humedad reduce la resistencia, mientras que la compactación o el drenaje la eleva. La disolución de cristales (arcillas sensitivas), baja la resistencia.



Figura 3.2 El suelo de la corona del talud es inestable: la contracción y el agrietamiento inducidos por el secado del sol y el viento, hasta la deshidratación del suelo lo hace perder su funcionalidad.

3. **Permeabilidad:** Es la capacidad de un suelo de permitir el paso de un fluido a través suyo. La permeabilidad baja estimula el incremento de presión de poros y es un factor detonante de deslizamientos. Por otra parte, el flujo de agua a través del suelo permeable, de cohesión baja, puede originar la tubificación, el arrastre de partículas sólidas y la erosión interna del suelo.

4. **Durabilidad:** Es la capacidad que tiene el suelo de resistir a la acción del medio ambiente que lo rodea, (figura 3.2) o de la meteorización física o química; de la abrasión o de cualquier otro proceso de deterioro. El intemperismo, la erosión y la abrasión amenazan la vida útil de un suelo, como elemento estructural y funcional.

5. **Compresibilidad:** Es la propiedad de un suelo relacionada con su susceptibilidad a disminuir su volumen cuando es sometido a cargas. Afecta la permeabilidad, altera la magnitud y sentido de las fuerzas inter-partícula, modificando la resistencia del suelo al esfuerzo cortante. Los suelos poco compresibles son susceptibles a sufrir desplazamientos.

Las anteriores propiedades se pueden modificar o alterar de muchas formas: por medios mecánicos al compactar el suelo, la instalación de subdrenaje, medios eléctricos, cambios de temperatura o adición de estabilizantes (cal, cemento, asfalto, sales, etc.).

Componente	Arena	Limo Mica	Carbonato	Sulfato	Caolinita Illita	Montmorillonita	Materia orgánica Alofano
Propiedad							
Permeabilidad seco	ma	b m	m	m	b mb	mb	ma m
Permeabilidad humedo	ma	a a	m	m	b mb	mb	ma ma
Estabilidad volumétrica	ma	a a	ma	ma	a b	mb	a m
Plasticidad cohesión	b	mb b	b	b	m b	ma	m ma
Resistencia seco		a a	a	a	m a	ma	b m
Resistencia humedo		mb m	a	a	b m	mb	mb b
Compacaccción óptima	a	m mb	ma	ma	b m	mb	mb ma

ma: muy alto, a: alto, m: moderado, b:bajo, mb:muy bajo

Tabla 3.1 Propiedades ingenieriles de los componentes del suelo

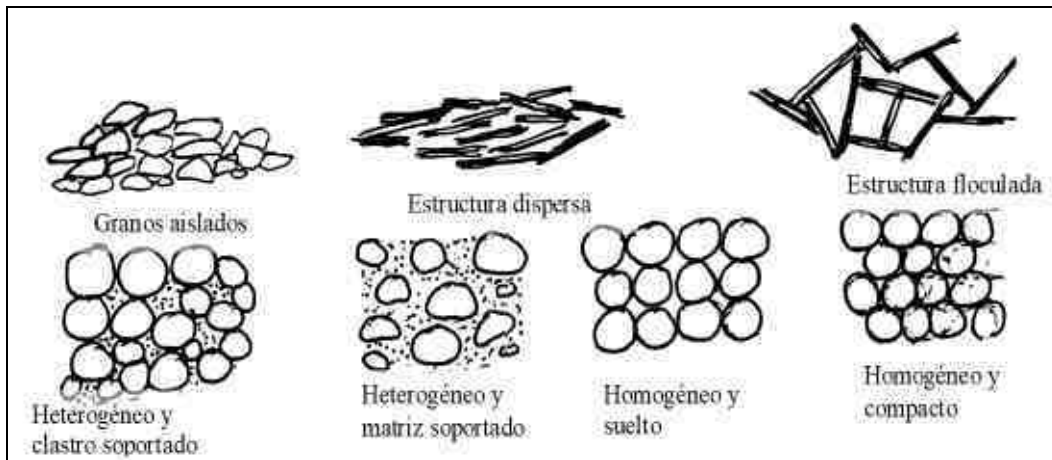


Figura 3.3 Estructura de suelos

3.1.3 Estructura de los suelos – Fábrica textural y estructural del suelo.

La estructura primaria en su estado natural es la disposición y el estado de agregación de los granos, lo que depende del ambiente de meteorización, en el caso de los suelos residuales, o del ambiente de deposición en el caso de los suelos transportados. El resultado es fábrica textural que hereda el suelo.

Otras discontinuidades en la masa, por ejemplo, los pliegues o las fracturas, por actividad de la tectónica, el vulcanismo, etc., o las que marcan ciclos de actividad geológica (planos de estratificación, disolución, alteración, etc.), son la estructura secundaria y constituyen aspectos estructurales a mayor escala; esta es la fábrica estructural que hereda el suelo (relictos).

En el proceso de sedimentación, las partículas sólidas están sometidas a fuerzas mecánicas y eléctricas. Las primeras afectan todas las partículas (ambientes turbulentos, gravedad, etc.) y las segundas a las partículas finas (atracción, repulsión y enlaces iónicos, en medios acuosos). Cuando dominan fuerzas de atracción eléctrica, se produce la floclulación y cuando dominan las de repulsión, las partículas se separan formando suelos dispersivos. La temperatura y concentración iónica influyen en la incidencia del medio acuoso de la sedimentación.

El suelo puede fallar por los granos minerales (falla por la fábrica textural), o por la liga de los granos minerales (falla por la fábrica estructural).

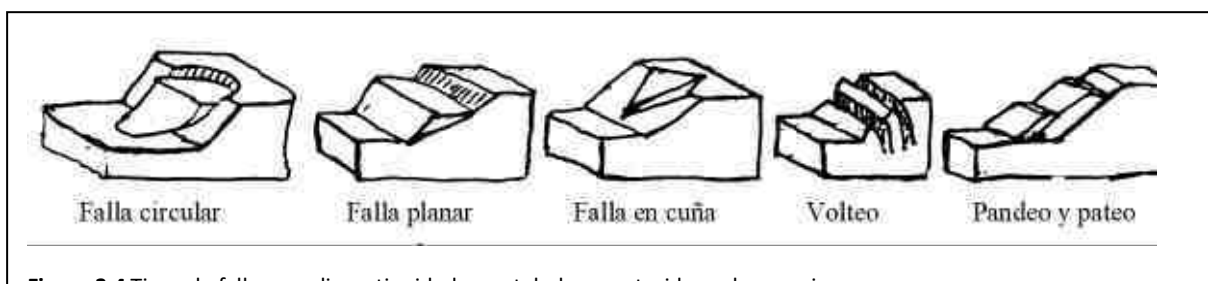
Así, la estructura primaria puede ser:

ORIGEN	Textura		Fabrica no orientada			Fabrica orientada		
	Calse	Grano	Entrelazada	Cementada	Consolidada	Foliada	Cementada	Consolidada
ÍGNEO	Cristalina	Fino	Basalto					
		Grueso	Granito					
	Piroclástica	Fino		Toba				
		Grueso		Aglomerado				
METAMÓRFICO	Cristalina	Fino	Hortels			Pizarra		
		Grueso	Mármol			Gneis		
	Clástica	Fino	Milonita			Flonita Protomilonita		
		Grueso	Brecha					
SEDIMENTARIO	Grano-cristalina	Fino	Caliza Oolitica					
		Grueso						
	Clástica	Fino		Limolita Calcárea	Arcillolita		Lutita Calcárea	Lutita Arcillosa
		Grueso		Conglomerado Calcáreo	Conglomerado Arenoso		Lutita Cuarzosa	Lutita Arenosa

Tabla 3.2 Textura y fábrica de materiales rocosos.

3.1.4 Tipos de falla por discontinuidades en roca

La geotecnia incluye el estudio de la estabilidad de taludes. Uno de los aspectos más importantes es identificar los mecanismos de falla de los taludes. Las fallas más comunes en suelos son: la **falla circular** ocurre en taludes conformados por suelos o por masas de roca intensamente fracturada; la **falla traslacional** es más frecuente en suelos que reposan sobre una roca o un suelo más compacto y estable; la **falla planar** ocurre a través de discontinuidades o diaclasas, cuando el buzamiento es menor al del talud y mayor al ángulo de fricción; la **falla en cuña** ocurre cuando dos familias de discontinuidades producen cuñas, con línea de cabecero buzando más suave que el talud. La **falla por volteo** se presenta cuando el buzamiento casi vertical o contrario; el **pandeo por fricción plástica** y el **pateo** ocurren cuando los bloques de roca se disponen paralelos a la pendiente y pierden el talón. En masas con mecanismos de falla planar o de cuña, la fricción que se desarrolla a lo largo del plano puede sostener los bloques inestables y en el caso de las cuñas cuando las discontinuidades están poco inclinadas. Recuérdese que los suelos residuales heredan las debilidades de la roca y estas se denominan "relictos". Las discontinuidades en los macizos rocosos forman relictos y las masas pueden fallar por los planos heredados de la fábrica estructural.



3.1.5 El contexto para facilitar el texto geotécnico

La mecánica de suelos exige actividades de campo que incluyen las campañas de prospección de suelos, incluyendo la toma de muestras, visitas para verificar el estado de las áreas a intervenir, la identificación de los rasgos geotécnicos como grietas, contactos, cambios de suelos, aprovechando los escarpes y los taludes aledaños al sitio de estudio. Las observaciones de campo deben anotarse en forma apropiada, incluyendo además, los datos de localización, la fecha y el ejecutor, entre otros, tales como los que siguen a continuación que son importantes y fundamentales para el éxito del trabajo:

Profundidad del suelo, los espesores y la localización de los contactos referenciados a la superficie del suelo permiten configurar el arreglo de los suelos, los planos de contacto y las condiciones que favorecen o no la estabilidad de una estructura.

Color. El color del suelo incluyendo diversos colores (abigarrado), cuando se contamina o cuando existen vetas permiten una clasificación por comparación y hacer la localización de los estratos de suelo.

Inclusiones. Los suelos tienen inclusiones de carbonatos, hierro, raíces, materia orgánica, etc. Estas inclusiones le pueden disminuir la calificación como un suelo que hace parte de la cimentación de una estructura.

Tipo de perfil. La exploración del suelo se puede realizar por medio de sondeos (exploración indirecta con la toma de muestras), apiques y trincheras (exploración directa y la toma de muestras), o mediante la revisión de los taludes o escarpes cuando se trata de escarpes dejados por un deslizamiento.

Presencia del nivel freático. La profundidad a la cual aparece el nivel freático. El nivel freático tiene fluctuaciones en los inviernos y los veranos. La identificación de capas de suelo más impermeables, es de gran utilidad para configurar los modelos físicos necesarios para el modelado de un talud.

Presencia de humedad. Profundidades del suelo con humedades altas, principalmente en los cambios litológicos o cerca de manantiales de agua permiten trazar estrategias para realizar el control y conservar estables la humedad y la estabilidad de un suelo.

Geología. El tipo de roca y las formaciones en la región son el soporte de los suelos, sus orígenes y su evolución por los procesos de alteración y meteorización.

Aguas superficiales. La presencia de aguas concentradas que contribuyen a la erosión o a los deslizamientos cuando se pueden incorporar al suelo por las grietas, los caudales, la coloración del agua (óxidos de hierro), la turbidez, cuando se presenta erosión interna, entre otros.

Erosión. Tipo de erosión. La erosión es una causa de la pérdida de funcionalidad del suelo como estructura que integra un proyecto y es síntoma de la baja resiliencia frente al cambio climático.

Vegetación. Tipo de vegetación, la vegetación contribuye a localizar zonas húmedas. Además es un elemento que integra la solución a los problemas de taludes de ingeniería.

Presencia de deslizamientos. Los procesos de inestabilidad existentes. Los mecanismos de falla, las áreas afectadas por los movimientos y las causas de los procesos son indicadores de los tipos de problemas que se deben abordar en la ingeniería.

Uso y manejo del suelo. Si son pastos, cultivos o áreas duras. Es necesario localizar las áreas de cultivos limpios y semilimpios en laderas pendientes, las áreas protegidas con vegetación nativa, los procesos denudativos asociados con el fin de integrar la vegetación dentro de las soluciones.

Textura y consistencia. Identificar si el suelo es arenoso, arcilloso, entre otros, es soporte para resaltar las cualidades o dificultades que pueden generar estos suelos: los suelos limosos y arenosos son susceptibles a erosión, mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión, pero dificultan el subdrenaje por tener permeabilidades muy bajas.

Micro relieve en los suelos. Identificar el estado de los contacto entre suelos, anomalías del relieve.

3.1.6 Definiciones

Sensibilidad: O susceptibilidad de una arcilla, es la propiedad por la cual, al perder el suelo su estructura natural, cambia su resistencia, haciéndose menor y su compresibilidad, aumenta.

Tixotropía: Propiedad que tienen las arcillas, en mayor o menor grado, por la cual, después de haber sido ablandada por manipulación o agitación, puede recuperar su resistencia y rigidez, si se deja en reposo, y sin cambiar el contenido de agua inicial.

Desagregación: Delesnamiento o desintegración del suelo. Cuando se daña su estructura al experimentar ciclos de humedecimiento y secado por calor y viento.

Muestra inalterada: Calificación de valor relativo, para un espécimen de suelo tomado con herramientas apropiadas, retirado del terreno con los cuidados debidos, transportado, conservado y llevado al aparato de ensayo, de manera que pueda considerarse que las propiedades del suelo natural, que se desean conocer en la muestra, no se han modificado de manera significativa.

Muestra alterada: Espécimen con su estructura disturbada. Se emplea para verificar la continuidad de un estrato de suelo y son útiles para realizar ensayos de plasticidad, granulometría, humedad natural, entre otros.

Suelo grueso-granular: Son los suelos conformados por partículas de mayor tamaño: guijarros, gravas y arenas. Su comportamiento está gobernado por las fuerzas de gravedad.

Suelos fino-granulares: Son aquellos conformados por limos y arcillas. Su comportamiento está regido por fuerzas eléctricas, fundamentalmente.

Suelos pulvulentos: Son suelos no cohesivos, o suelos gruesos, pero limpios (sin finos); es decir, grueso-granulares limpios.

Arcillas Vs limos: En estado seco o húmedo, tiene más cohesión la arcilla. La arcilla seca es dura mientras el limo es friable o pulverizable. Húmedos, la arcilla es plástica y el limo poco plástico. Al tacto, la arcilla es más suave y a la vista el brillo más durable.

3.1.8 Suelos especiales.

En la mecánica de suelos se presenta, con frecuencia, suelos con comportamientos que ameritan ensayos especiales, para determinar algunas propiedades que pueden afectar las estructuras cimentadas en ellos.

Suelos expansivos: La expansión se explica por adsorción de agua, dada la deficiencia eléctrica del suelo, su alta superficie específica y su capacidad catiónica de cambio. Los problemas que ocasionan están vinculados con las altas presiones y grandes deformaciones por el hinchamiento que sufre el suelo. Son expansivos algunas veces los suelos clasificados como limos inorgánicos de plasticidad alta (MH), las arcillas de plasticidad alta (CH), con límites líquidos mayores de 50%.

Solución a los problemas por expansión de suelos: La solución para controlar la expansión de estos suelos, es colocar una carga que aplique una presión mayor a la presión máxima de expansión del suelo; otra alternativa es conservar la humedad natural (ω) constante, aislando el volumen expandible. Mantener la humedad final del suelo con la humedad natural (drenando). Disminuir la presión de expansión, bajando la capacidad catiónica, con Ca^{++} y Mg^{++} . Reemplazar el suelo, traspasar la capa problemática por medio de pilotes a fricción negativa. En la haloisita, la cal no es buena, pero al calentarlo a 60 °C pasa a ser caolinita.

Suelos dispersivos: En estos suelos ocurre una defloculación de las arcillas. El fenómeno químico es propio de suelos salinos, cuando, por presencia de sodio se desplaza el agua recién venida y adsorbida, para romper los enlaces.

La verificación del potencial dispersivo se hace contando iones disueltos de Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} y K^+ y comparando, con el total de sales, en términos de concentración.

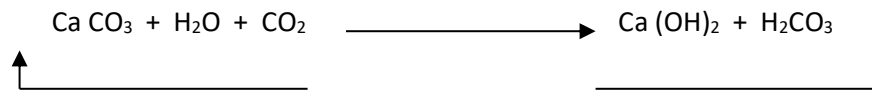
El efecto de la dispersión es la erosión interna o tubificación, y la pérdida de resistencia del suelo por destrucción de su estructura.

En un ensayo de erodabilidad, todos los suelos dispersivos son erodables. Los suelos dispersivos son sódico-cálcicos y la solución a los problemas es incorporar cal viva para neutralizar el Na^+ . Se presentan en el Huila y Guajira (ambientes áridos y suelos marinos).

Suelos colapsables: Los limos originados en suelos de cenizas volcánicas son colapsables, especialmente cuando son remoldeados; el límite líquido (LL) de las cenizas volcánicas es muy alto y sus enlaces iónicos son débiles. Los suelos de origen eólico -las cenizas tienen algo de eso- son susceptibles, el agua (pocas veces) y el sismo, en casos de licuación, hacen colapsar el suelo.

Suelos orgánicos: El primer producto de estos materiales es la turba, que es materia orgánica en descomposición. Por su porosidad y estructura, tiene alto contenido de humedad, baja resistencia, alta compresibilidad e inestabilidad química (oxidable). Deben evitarse como material de fundación y como piso para rellenos. El humus es de utilidad económica y ambiental, por lo que debe preservarse.

Suelos solubles: La disolución se presenta en suelos calcáreos (calizas – yesos);



El ácido carbónico producido ataca de nuevo los carbonatos del suelo, por lo que es recomendable aislar la estructura del flujo de agua.

3.1.9 Recolección de muestras en el terreno



Equipo:

Barreno manual, motorizado o equipo de perforación.

Varillas de extensión.

Bolsas para muestras y recipientes para contenido de humedad.

Llaves inglesas para articular las varillas de extensión del barreno.

Decámetro para localizar perforaciones, para medir los espesores de los estratos de suelos y la profundidad del nivel freático.

Formato para el registro del sondeo.

Lápiz y borrador.

Objetivo: Conseguir muestras de suelo, en un sondeo manual. Las muestras recuperadas pueden ser alteradas o de bolsa en forma inalterada por medio de tubos shelby o pared delgada. Las muestras se deben identificar al vincularlas al sondeo y reportar la profundidad a la que fue extraída.

El objetivo del trabajo de campo es la elaboración de un perfil de suelos para identificar la estratigrafía del terreno (presencia de los perfiles del suelo, su espesor), aprovechando la perforación para identificar la profundidad del nivel freático, la presencia de suelos orgánicos, entre otras observaciones que se realizan en el campo.

Procedimiento: se realiza la perforación y se hace el registro de los suelos encontrados; se toman muestras para humedad por cada metro de perforación, donde cambie el estrato o la apariencia del suelo. Al recuperar las muestras se debe cuidar que no pierdan humedad, y para ello no se debe demorar en conservar herméticas las muestras.

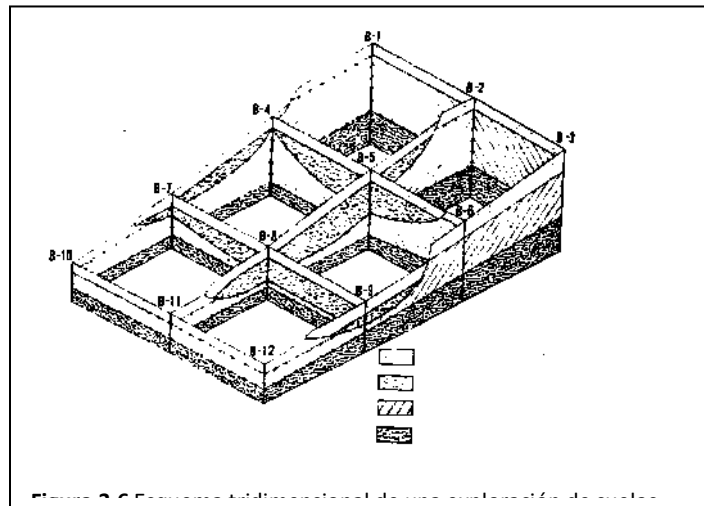
Las muestras se rotulan con los datos suficientes y necesarios para identificar el sitio de toma de la muestra, se anota en el formato del registro del sondeo y se guarda en un sitio adecuado, donde no sufra alteración por la pérdida de humedad. Si se encuentra el nivel freático, éste se reporta en el formato del sondeo. Se acostumbra dejar la perforación abierta para verificar el nivel freático el día siguiente.

3.2 GRANULOMETRÍA

3.2.1 Análisis granulométrico.

Proceso de laboratorio que permite determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo.

La gradación por tamaños es diferente al término geológico en el cual se alude a los procesos de construcción (agradación) y la destrucción (degradación) del relieve, por fuerzas y procesos tales como tectonismo, vulcanismo, erosión, sedimentación, entre otros.

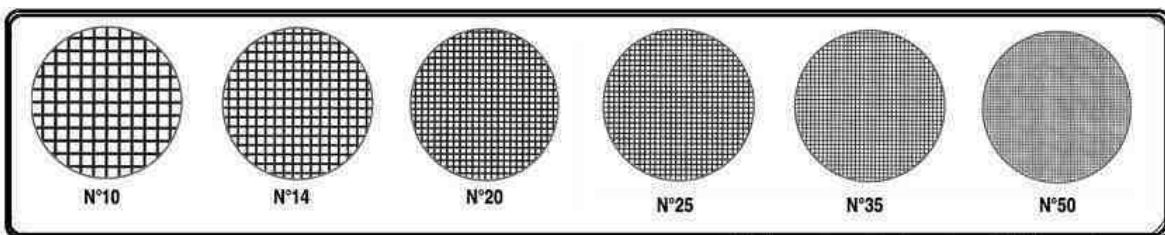


3.2.2 Métodos de análisis granulométrico.

La separación de un suelo en diferentes fracciones, según sus tamaños, resulta necesaria para la conocer su competencia y eficiencia, desde la perspectiva geotécnica. Esta acción comprende dos tipos de ensayos: por tamizado para las partículas grueso-granulares (gravas y arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos y arcillas); estos últimos, dado su comportamiento plástico, no son discriminables por tamizado.

3.2.2.1 Método del tamizado.

Una vez se seca el suelo en el horno o al aire, se pulveriza, se hace pasar por una serie organizada de tamices, de agujeros con tamaños decrecientes y conocidos, de arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar las pérdidas de finos; el último tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz.



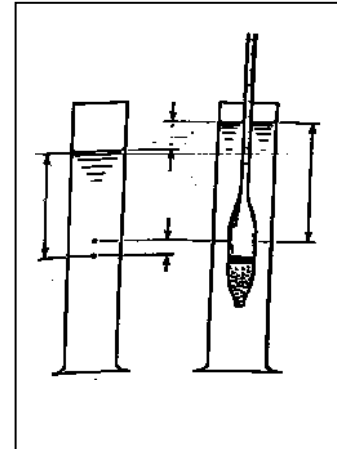
Mallas, en: apuntesingenierocivil.blogspot.com

Figura 3.7 Mallas para tamices. En, Blog Apuntes Ingeniería Civil.

Con sacudidas horizontales y golpes verticales, mecánicos o manuales, se hace pasar el suelo por la serie de tamices, de arriba abajo, para luego pesar por separado el suelo retenido en cada malla.

3.2.2.2 Métodos de sedimentación.

Se puede realizar por dos procedimientos: el método del hidrómetro y el método de la pipeta. Ambos se soportan en las características de la sedimentación de las partículas del suelo en un medio acuoso. Se aplican tales métodos al "suelo fino", es decir, al que ha quedado en el fondo de los tamices y que se denomina "pasa-200", material constituido por limos y arcillas.



a) Método del hidrómetro.

Se toma una probeta con agua, se introduce suelo, se agita hasta lograr una suspensión uniforme; luego se deja en reposo para ir midiendo, con hidrómetro para distintos tiempos transcurridos, la densidad de la suspensión disminuye a medida que las partículas se asientan. La profundidad del densímetro es variable con la densidad de la suspensión (ARQUÍMEDES), es la base para calcular esa distribución de tamaños de granos finos que pasa la malla o tamiz No 200, con $\phi = 0,074$ mm. El sistema se calcula con el apoyo de "La Ley de Stokes", donde:

$$v = g * D^2 \frac{\rho_s - \rho_f}{18n} \quad \begin{matrix} \nearrow \text{ cm/sg} \\ (N \approx 100,51D^2) \\ \nwarrow \text{ mm} \end{matrix} \quad (3.1)$$

En donde

v = velocidad en cm/seg = constante

n = viscosidad en Poises = gr/cm sg

g = gravedad en cm/seg²

ρ_s, ρ_f = densidades de los sólidos y la suspensión en gr/cm³

D = diámetro de una esferita (diámetro equivalente) en cm.

Con la expresión 3.1 se obtiene la del diámetro equivalente D :

$$D = \sqrt{\frac{18n * v}{g(\rho_s - \rho_f)}} = \sqrt{\frac{18n * v}{\gamma_s - \gamma_f}} = \sqrt{B * v} = \sqrt{B \frac{H}{t}} \quad (3.2)$$

Puesto que la viscosidad $\cdot$ y el peso unitario del fluido ($\gamma_f = \delta_f * g$) cambian con la temperatura "T", habría de calcularse B. $B = f(T, \gamma_s)$. En la ecuación 3.2, la velocidad v es H sobre t ($v = H/t$).

El número N de partículas con $\phi > D$, usado en la curva granulométrica, se calcula con la profundidad H del centro del hidrómetro, la que dependerá de la densidad de la suspensión.

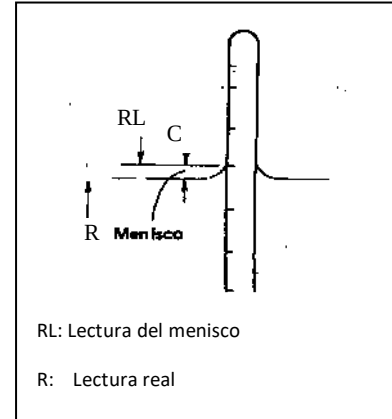
La fórmula 3.1 es válida si $0,2\mu \leq D \leq 0,2\text{mm}$ (sólo limos).

Entonces:

$$N = \frac{G_S (\gamma_F - \gamma_W)}{W_S (G_S - 1)} V * 100 \quad (\% \text{ de partículas con } \phi < D = \sqrt{B * v})$$

En donde G_S es la gravedad específica de los sólidos, V es el volumen de la suspensión, W_S es el peso de los sólidos de la suspensión, γ_F es el peso unitario de la suspensión a la profundidad H , γ_W es el peso unitario del agua.

Toda esta situación alude a medidas hechas sucesivamente, después de transcurrido un tiempo t , en el que, a la profundidad H , no existen partículas con diámetro equivalente mayor que D , dado que ellas se han sedimentado (en minutos, horas o días).



b) Método de la pipeta.

A diferencia del anterior, aquí se deja constante el valor de H . También se parte de una suspensión agua-suelo, uniforme en el instante inicial, que con el tiempo se modifica, dado que las partículas de mayor diámetro se precipitan a mayor velocidad, con fundamento en la Ley de Stokes. A distintos tiempos, desde el inicio, se toman muestras de la suspensión, a una misma profundidad predeterminada (H_0).

De cada muestra obtenida, se determina el peso de los sólidos, contenido por unidad de volumen de la suspensión, lo que constituye la base para el cálculo de la distribución (en proporción) de los tamaños de las partículas finas.

Ajuste por menisco: El agua turbia no deja leer la base del menisco con el hidrómetro. (Figura 3.8)

Se lee R_L y la corrección será $C = R_L - R_{REAL}$, luego $R_{REAL} = R_L - C$ (corregido).

3.3 Curva granulométrica.

Los resultados de los ensayos de tamizado y sedimentación se llevan a un gráfico llamado curva granulométrica. La fracción gruesa tendrá denominaciones, según el sistema:

SISTEMAS	BRITÁNICO ¹	AASHTO ²	ASTM ³	SUCS ⁴
	ϕ (mm)	ϕ (mm)	ϕ (mm)	ϕ (mm)
Grava	60 – 2	75 – 2	> 2	75 – 4,75
Arena	2 – 0,06	2 – 0,05	2 – 0,075	4,75 – 0,075
Limo	0,06 – 0,002	0,05 – 0,002	0,075 – 0,005	< 0,075 FINOS
Arcilla	< 0,002	< 0,002	< 0,005	

Tabla 3.3. Denominación de suelos, según sistemas de Clasificación.

4: Sistema Unificado de
Clasificación de Suelos

3: American Society for
Testing and Materials

2: American Association of

En los suelos grueso-granulares, el diámetro equivalente está referido al agujero cuadrado de la malla; para los finos, al diámetro equivalente de una esfera.

La curva se dibuja en papel semilogarítmico: con una escala aritmética en las ordenadas que permiten identificar los porcentajes, en peso, de partículas con diámetro menor que cada uno de los lados de las abscisas. La escala logarítmica en las abscisas presenta los tamaños de los granos en milímetros. Esta escala, en razón de que los diámetros varían de cm, mm y μ . Esta clasificación es necesaria en geotecnia, pero no suficiente. Se complementa siempre la granulometría con el ensayo de Límites de Atterberg, que caracterizan la plasticidad y consistencia de los finos en función del contenido de humedad.

3.4 Descripción de la gradación.

La forma de la curva de distribución de tamaños de las partículas, indica si los tamaños varían en un rango amplio (curva C) o estrecho (curva B); si el rango tiende a los tamaños mayores del suelo grueso (A) o a los menores de un suelo fino, (C). Si todos los tamaños tienen proporciones en peso relativamente iguales, el rango es amplio y la curva suave, el suelo así será bien gradado como A y C. La mala gradación puede ser por falta de extensión (B) o por discontinuidad. En suelos granulares la gradación expresada numéricamente, se puede determinar con el apoyo del coeficiente de uniformidad C_u y con el coeficiente de curvatura C_c .

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \Rightarrow \text{bien gradado cuando} \begin{cases} C_u \geq 4 \text{ en Gravas} \geq 6 \text{ en arenas} \\ 1 < C_c < 3 \end{cases}$$

Cuanto más alto sea C_u , mayor será el rango de tamaños del suelo. Los D_i ; $i = 10, 30, 60$, son los tamaños o diámetros de las partículas, para el cual el $i\%$ del material es más fino que ese tamaño.

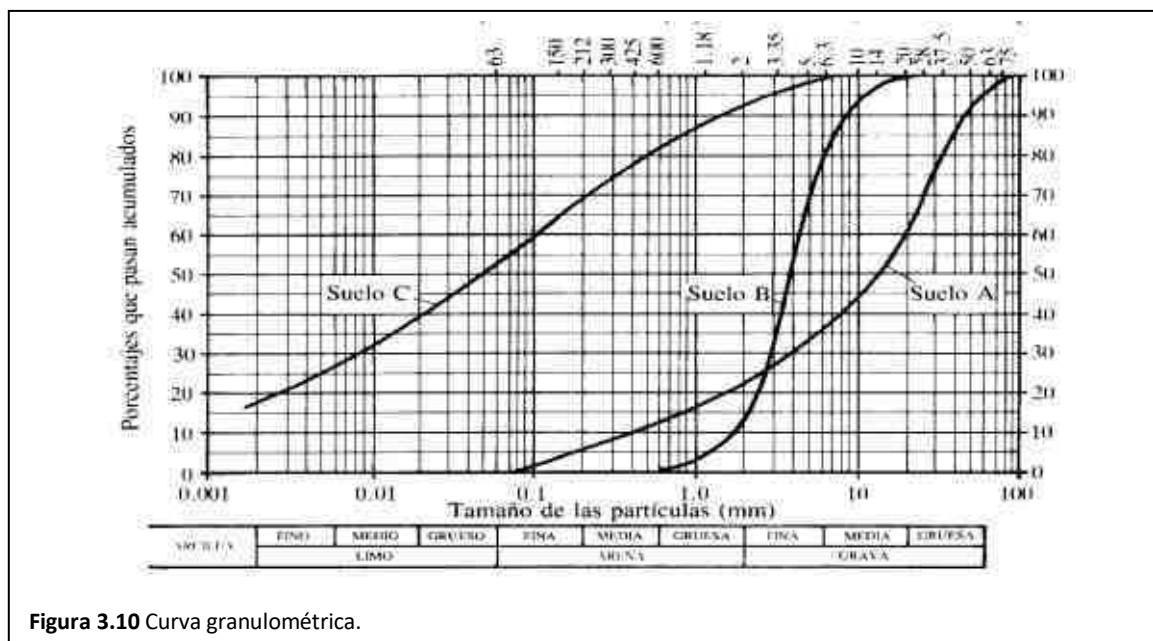


Figura 3.10 Curva granulométrica.

En la figura 3.9, la curva A representa un suelo bien gradado y de grano grueso. La curva B representa un suelo mal gradado, de poca uniformidad (curva parada sin extensión); el suelo C corresponde a una arcilla limosa (suelo fino). Las expresiones T_4 , T_{40} y T_{200} corresponden a la denominación de los tamices o mallas.

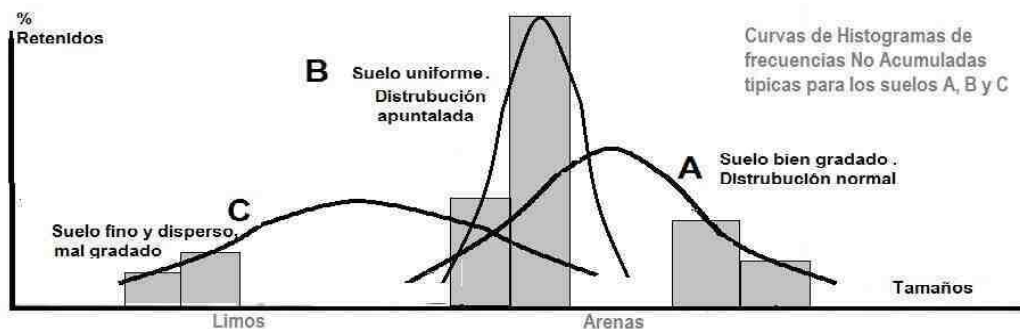
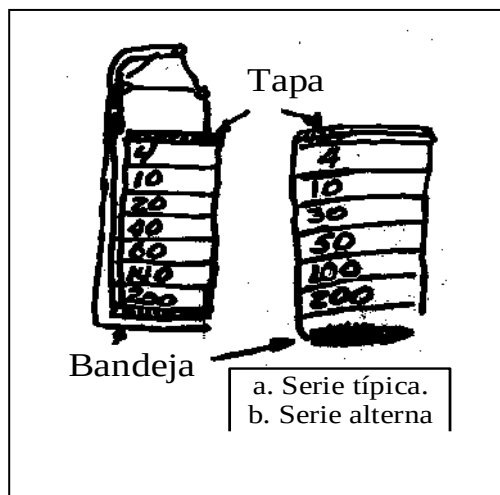


Figura 3.11. Las curvas de distribución de los suelos anteriores, permiten observar que A se ajusta mejor a la forma de la campana de Gauss, mientras B resulta apuntalada y C aplanada.

Tamices. La muestra de suelo se hace pasar a través de un juego de tamices de aberturas descendentes. Esa operación de laboratorio, se denomina cribado o tamizaje. El cribado por mallas se usa para obtener las fracciones correspondientes a los diferentes tamaños de partículas que constituyen el suelo; para conocer la fracción de suelo que es menor que cada apertura de tamiz, partiendo de los mayores tamaños, se van tamizando las fracciones de suelo de tamaños cada vez menores, hasta el suelo más fino correspondiente a la malla No 200 (0.074 mm).

La Tabla 3.4, muestra el rango de tamices, con el Tamaño de las Mallas para la Elaboración de la Curva Granulométrica, según el ASTM:

Designación n	ϕ apertura	Designación	ϕ apertura
3 pulgadas	75 mm	Nº 16	1180 μ
2 pulgadas	50 mm	Nº 20	850 μ
1 1/2 pulgadas	37,5 mm	Nº 30	600 μ
1 pulgada	25 mm	Nº 40	425 μ
3/4 pulgada	19 mm	Nº 50	300 μ
3/8 pulgada	9,5 mm	Nº 60	250 μ
Nº 4	4,75 mm	Nº 100	150 μ



Nº 8	2,36 mm	Nº 140	106 μ
Nº 10	2 mm	Nº 200	75 μ

Tabla 3.4 - Serie de tamices o mallas.

Tabla 3.5- TAMAÑOS DE GRANOS

Denominación de Tamaños	Diámetros dominantes	Suelo representativo
Muy gruesos	> 60 mm	Cantos o boleos
Gruesos	60 a 2 mm	Grava
Medianos	2 a 0,06 mm	Arena
Finos	0,06 a 0,002 mm	Limo
Muy finos	< 0,002 mm	Arcilla

Alberto J. Martínez Vargas, 1990

Ejercicio 3.1

Calificar las curvas anteriores, calculando los coeficientes C_u y C_c .

CURVA	D_{10}	D_{60}	D_{30}		C_u	C_c	Observación
A	0,4	20	4,0	$67\% > T_4$	50,0	2,0	Grava bien gradada
B	1,8	4,4	2,9	$67\% < T_4$	2,40	1,1	Arena mal gradada
C	0,001	0,14	0,009	$55\% > T_{200}$	NO PROCEDE		Suelo fino, ver límites
D	0,005	0,20	0,012	$60\% > T_{200}$	NO PROCEDE		Suelo fino, ver límites

SUCS: Gravass: $C_u > 4$; arenas: $C_u > 6$; $T_4 = 4,75$ mm; $T_{200} = 0,075$ mm

Ejercicio 3.2

Dados los pesos retenidos, dibuje la curva de la arena dada.

TAMIZ	ϕ mm	W retenido	% retenido	% que pasa
4	4,75	9,7	1,9	98,1
10	2,00	39,5	7,9	90,2
20	0,840	71,6	14,3	75,9
40	0,425	129,1	25,8	50,1
60	0,250	107,4	21,5	28,6
150	0,150	105,0	21,0	7,6
200	0,075	8,5	1,8	5,9
Bandeja		1,3	X	
		472,1 gr	94,1%	

Muestra seca 500 gr; pérdida por lavado 27,90 gr; total = 472,1 gr $\equiv$ 94,4%.

Porcentaje retenido en el $T_4 = (9,7/500) * 100 = 1,9 \%$; porcentaje que pasa = $100 - 1,9 = 98,1 \%$

Explicación

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,53}{0,15} = 3,5$$

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{0,26^2}{0,15 * 0,53} = 0,85$$

Pobremementegrada y es arena. (% que pasa $T_4 > 50 \%$)
 Es fina (gran % entre $T_{10} - T_{40}$. Es limpia (% pasa $200 < 5 \%$).
 Esto según SUCS

Ejercicio 3.3

Se tienen dos materiales α y β que no llenan los requerimientos del constructor. Se encuentra que, para llenarlos, el material α puede aportar los gruesos y β los finos requeridos, si se mezclan. Obtenga una solución que satisfaga las especificaciones dadas en el proyecto.

Solución.

La "fórmula básica" para mezclar dos materiales es $P = aA + bB$ (I)

Siendo: $P = \%$ de la mezcla que pasa por un tamiz dado.

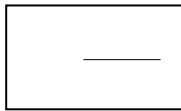
$A, B = \%$ de α y β que pasan por un tamiz dado.

$a, b = \%$ en que α y β entran en la combinación.

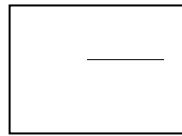
Así: ----- $a + b = 1,0$ (II)

Luego, llevando II a I $P = (1-b)*A + b*B$ o sea:

$$P - A = b \cdot (B - A) \quad \text{de donde}$$



Y similarmente



(III)

Malla	3/4"	1/2"	3/8"	T4	T8	T30	T50	T10	T20	
Especificació	100	80/10	70/90	50/70	35/50	18/29	13/23	8/16	4/10	Del constructor
n		0						0	0	
α	100	90	59	16	3,2	1,1	0	0	0	} Disponible
β	100	100	100	96	82	51	36	21	9,2	

Obsérvese que el material α aporta los gruesos y el β los finos.

Se escoge cualquier tamiz (por ejemplo el 8) y un valor P en el rango de las especificaciones (el promedio, $P_8 = (35+50)/2 = 42,5\%$). También se puede acercar este punto al material más económico o más apropiado, desplazando así la curva de la mezcla, pero se debe verificar que no se salga del rango de las especificaciones.

Siendo $A = 3,2\%$; $B = 82\%$, con (III), $a = 0,5$; $b = 0,5$. Entonces:

Malla	3/4"	1/2"	3/8"	T4	T8	T30	T50	T10	T20	
0,5 * α	50	45	29,5	8	1,6	0,6	0	0	0	} Para mezclar
0,5 * β	50	50	50	48	41	25	18	10,5	4,6	
Total	100	95	79,5	56	42,6	25,6	18	10,5	4,6	} Mezclado

Obsérvese que el nuevo material cumple con lo especificado. Este problema también se puede resolver gráficamente, dibujando las curvas de los dos materiales, e interpolando entre ellas la curva de la mezcla con una proporción constante según los valores deseados de a y b, y dibujando las fronteras de las especificaciones para observar si la mezcla se mantiene adentro de ese rango.

DOCUMENTOS DE SOPORTE ON LINE

Macizos rocosos: Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Descripción del macizo rocoso: introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterráneas. Suárez Burgoa, Ludger Oswaldo (2014) Descripción del macizo rocoso: introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterráneas. Ludger Oswaldo Suárez Burgoa, Medellín.

Edafología General. Medina O., Héctor (1969). Memoria sobre las actividades docentes e investigativas en la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Granulometría. César García Andreu, José Miguel Saval P, Francisco Baeza B, Antonio José Tenza A. (2009). Práctica de Materiales de Construcción. Universidad de Alicante, España.

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Ejercicio 3.4

Dados los pesos retenidos, dibuje la curva granulométrica y determine si el suelo está bien o mal gradado.

P1 1000 gr				
Tamiz	Diametro (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% que pasa
4	4,75	50		
8	2,36	100		
10	2,00	120		
20	0,85	130		
40	0,425	150		
60	0,25	150		
100	0,15	120		
140	0,106	100		
200	0,075	80		
Total				

Ejercicio 3.5

Dados los pesos retenidos, dibuje la curva granulométrica y determine si el suelo está bien o mal gradado.

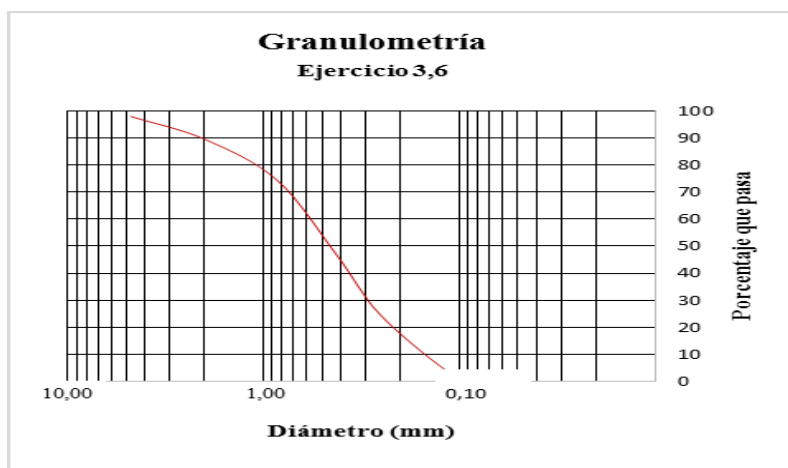
P1 10330 gr			P2 9909,7	
Tamiz	Diametro (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% que pasa
2"	50,80	874,8		
1,5"	38,10	310,8		
1"	25,40	706,3		
3/4"	19,05	619,9		
1/2"	12,70	1274		
3/8"	9,53	957,9		
1/4"	6,35	1194		
4	4,75	1034,6		
8	3,36	1524,3		
20	0,85	1070,4		
40	0,425	342,7		
fondo		420,3		
Total				

Ejercicio 3.6

Realizar el ensayo de granulometría a una muestra de 500 gr de una arena limpia y hacer la clasificación.

P₁ 500 gr						
Tamiz	Diámetro	Peso	Ponderación	Peso	Suelo	% que
No	(mm)	retenido		retenido	retenido	pasa
		gr	gr	aiustado	%	%
				gr		
						100,00
4	4,75	9,70	0,57	10,27	2,05	97,95
10	2,00	39,50	2,33	41,83	8,37	89,58
20	0,85	71,60	4,23	75,83	15,17	74,41
40	0,43	129,10	7,63	136,73	27,35	47,07
60	0,25	107,40	6,35	113,75	22,75	24,32
140	0,106	105,00	6,21	111,21	22,24	2,08
200	0,075	8,50	0,50	9,00	1,80	0,28
Fondo		1,30	0,08	1,38	0,28	0,00

ΣP 472,10 gr 500,00 gr
 Δ_s 27,90 gr



Al realizar el ensayo de granulometría y pesar la muestra retenida en cada tamiz se encuentra que la suma final es 472,10 gr, 27,90 gr menos que el peso inicial de la muestra. Para ajustar la curva se procede al ajuste por ponderación, aumentando al peso retenido en cada tamiz un peso proporcional al peso retenido en cada uno.

			siendo	
			W_R : Peso retenido en cada tamiz.	
			P_d : Ponderación	
d_{60}	0,574	mm		
d_{30}	0,298	mm		
d_{10}	0,157	mm		
			C_u	3,7
			C_c	1,0
			Condición	$C_u > 4$
				$1 < C_c < 3$

La muestra es una arena limpia mal gradada (SP)

Ejercicio 3.7

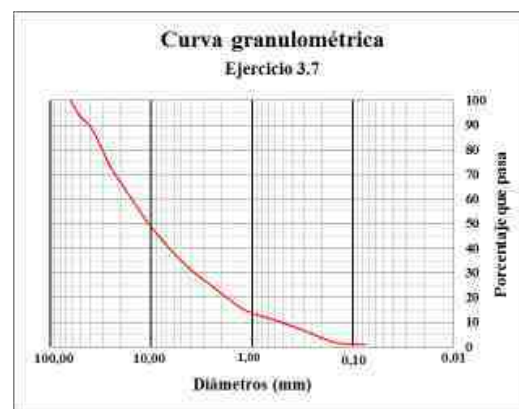
Se necesita realizar el ensayo de granulometría de una grava y para ello se llevó al laboratorio una muestra de este material. Realizar la clasificación para determinar si está bien gradada.

Tamiz	Diametro	Peso retenido de suelos	Suelo retenido	Pasante
No	(mm)	(gr)	%	%
2,5"	63,50	0,00	0,00	100
2"	50,80	320,90	6,44	93,56
1,5"	38,10	281,10	5,64	87,91
1"	25,40	735,00	14,76	73,15
3/4"	19,05	388,20	7,80	65,36
1/2"	12,70	533,00	10,70	54,65
3/8"	9,53	351,90	7,07	47,59
4	4,75	680,80	13,67	33,92
8	2,36	497,80	10,00	23,92
16	1,18	446,40	8,96	14,96
30	0,60	198,60	3,99	10,97
50	0,30	217,00	4,36	6,61
100	0,15	238,60	4,79	1,82
200	0,08	37,60	0,76	1,07
Fondo		53,10	1,07	0,00

4980,00

	C_u	34,33
	C_c	1,85

El material es una grava bien gradada (GW)



Ejercicio 3.8

Realizar el ensayo de granulometría de una muestra de una arena contaminada con un suelo fino y clasificarla

Tamiz	Díametro	Peso retenido de material	Porcentaje retenido	Porcentaje que Pasa
No	(mm)	(gr)	%	%
				100
1/2"	12,7	63,6	13,19	86,81
3/8"	9,525	58,2	12,07	74,74
4	4,75	55,7	11,55	63,19
8	2,36	45,7	9,48	53,71
10	2,00	10,3	2,14	51,58
16	1,18	21,5	4,46	47,12
20	0,85	36,2	7,51	44,07
40	0,43	40,2	8,34	35,73
60	0,25	44,1	9,15	26,59
100	0,15	47,8	9,91	16,67
140	0,106	25,4	5,27	11,41
200	0,075	25,7	5,33	6,08
Fondo		7,8	1,62	0,00

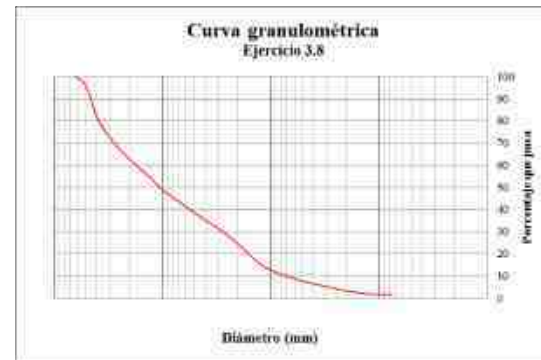
482

D ₆₀	3,68		
D ₃₀	0,29	C _u	40,2
D ₁₀	0,09	C _c	0,2

Plasticidad de la fracción que pasa el tamiz No 40

LL	38,5	
LP	21,2	SUCS
IP	17,3	CL

El material es una arena mal gradada, arena arcillosa (SP-SC)



DOCUMENTOS DE COMPLEMENTO

Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2020) U. Nacional de Colombia, <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/manualgeo.pdf>

Túneles: Videos y Documentos: <https://godues.wordpress.com/2014/01/04/tuneles-videos-y-documentos/>

	MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. Duque Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia (2020). See more at: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145

LECTURA 3: GOBERNANZA FORESTAL PARA LA ECORREGIÓN ANDINA

Imagen: Izq. Selva Tropical Andina y Der. Guadua de la Ecorregión Cafetera. Créditos en la imagen.

A continuación, dos notas verdes asociadas a la regulación hídrica y a la estabilidad de nuestros suelos, sobre nuestro patrimonio biótico, con la idea fundamental de crear conciencia sobre la importancia de avanzar en el desarrollo de una cultura forestal, del suelo y del agua, que abarque a todos los miembros de la cadena forestal, e incluso a los consumidores finales. En relación con los bosques y con el agua, más importante que la cantidad de agua disponible y extensión de las forestas protegidas, lo que importa es su gestión y la conciencia social sobre su valor estratégico para la biodiversidad y la calidad de vida de los colombianos.

Los temas a tratar, son: Primero, para hacer un llamado sobre el deterioro de nuestros bosques andinos y selvas tropicales, consecuencia de la deforestación y del comercio ilegal de la madera, entre otras acciones que se constituyen en severa presión antrópica sobre estos frágiles y vitales ecosistemas. Segundo, la guadua, planta emblema de caldas y recurso fundamental nativo de la región andina; que, por sus múltiples usos en el hábitat rural y urbano, se constituye en un elemento estructurante de nuestra cultura y en una impronta del paisaje de la ecorregión cafetera colombiana. Ambos se han tomado de un par de columnas, surgidas de un ejercicio académico en el que he participado con Carder y Aldea Global, para producir un par de textos relacionados con el proyecto de Gobernanza Forestal en Colombia. Y tercero, el caso de nuestros bosques altoandinos ya reducidos en extensión a la cuarta parte, toda vez que el 80% de la región andina se ha deforestado.

El ocaso del bosque andino y la selva tropical

Dos problemas estructurales íntimamente ligados, la deforestación y el comercio ilegal de la madera, han sido las causas primeras del gradual ecocidio cometido sobre un patrimonio fundamental para el agua y la biodiversidad, como lo son nuestros bosques andinos y selvas tropicales. Si en Colombia la tasa anual de deforestación en 2013 llegó a

valores superiores a 300 mil hectáreas, también en la Ecorregión Cafetera, un territorio biodiverso que alberga al 7% de las especies de plantas y animales del país donde el paisaje estuvo dominado por bosques, ahora solo se conserva menos del 20% de dicha cobertura.

Para el Ideam, mientras la cifra entre 1990 y 2010 llegó a 310 mil hectáreas-año, y en el Chocó se pierde la batalla contra la deforestación: la Región Andina fue la zona más afectada, seguida de la Amazonía. En cuanto a los principales procesos de destrucción de bosques y selvas de Colombia durante los últimos 60 años, Julio Carrizosa Umaña señala la colonización con propósitos de ganadería extensiva cuando se ofrecieron como alternativa a la reforma agraria, luego el uso de estos como protección de grupos armados y más tarde la presión sobre estos ecosistemas como soporte de cultivos ilícitos. Indudablemente, faltarían la expansión urbana, la palma africana y la actividad minera. La tala ilegal en Colombia cuya cuantía alcanzó al 42 por ciento de la producción maderera según el Banco Mundial (2006), cantidad equivalente a 1.5 millones de metros cúbicos de madera que se explota, transporta y comercializa de forma ilegal, evidencia una problemática que amenaza la sostenibilidad de los bosques nativos, y la subsistencia de especies maderables apreciadas en el mercado, como el abarco, el guayacán y el cedro, para lo cual las Corporaciones Autónomas aplican nuevos modelos y ajustan los existentes, para hacerlos más efectivos.

El Eje Cafetero, donde los paisajes están dominados por potreros, cafetales, plantaciones forestales, plataneras y cañaduzales, también la infraestructura y uso de agroquímicos, le pasa factura a los ecosistemas boscosos. Aún más, de un potencial del suelo que es del 4% para potreros, dicha cobertura en 2002 llegó al 49%; de un potencial del suelo para usos forestales del 54%, en 2002 los bosques del territorio solo llegaban al 19%; y de unos usos agrícolas y agroforestales cuyo potencial es del 21% y 20% en su orden, la cobertura agrícola en 2002 subía al 30%. Y respecto a los bosques naturales de guadua, una especie profundamente ligada a nuestra cultura que se expresa en el bahareque, cuyo óptimo desarrollo se da entre 1000 y 1600 msnm, afortunadamente las CAR de esta ecorregión han logrado mitigar la tendencia a su pérdida mediante la implementación de la Norma Unificada para su manejo, aprovechamiento sostenible y establecimiento de rodales y la combinación de dos estrategias: el proceso de Certificación Forestal Voluntaria, cuyo objeto es la apropiación del guadua por parte del propietario para lograr la articulación de los planes de manejo y de cosecha, y la zonificación de las áreas potenciales y el inventario de áreas cubiertas con guadua.

A pesar de los esfuerzos que históricamente se han hecho desde el Estado colombiano para combatir el delito de la ilegalidad forestal y la preocupante pérdida de los bosques naturales, dos flagelos que podrían acabar con los recursos forestales del país en cien años, se requiere avanzar en el desarrollo de una cultura forestal, del suelo y del agua que abarque a todos los miembros de la cadena forestal, e incluso a los consumidores finales. Para el efecto se requiere fortalecer los aspectos técnicos, normativos, operativos y financieros en los instrumentos y estrategias de las autoridades ambientales responsables del control y vigilancia forestal y del cuidado de los recursos naturales; y desarrollar campañas orientadas al conocimiento de la normatividad sobre legalidad forestal y a la sensibilización sobre la importancia del bosque; y segundo, desarrollar políticas públicas

que enfrenten esta problemática como una estrategia de adaptación al cambio climático, con directrices que contemplen el ordenamiento de cuencas, establecimiento de corredores de conectividad biológica e implementación de modelos agroforestales y silvopastoriles, para resolver los conflictos entre uso y aptitud del suelo, lo que obligaría a replantear el modelo agroindustrial cafetero desde la perspectiva ecológica.

Un SOS por la bambusa guadua

Cuando esta “aldea encaramada” de trama urbana reticulada superaba los 10 mil habitantes y soportaba su economía en el café y en la arriería de cientos de bueyes y mulas, tras los pavoroso sismos de 1878 y 1884 que derrumban el templo principal, surge el bahareque al cambiar la tapia pisada por una “estructura temblorera” configurada por una cercha de arboloco y guadua, con paneles de esterilla cubiertos por una mezcla de estiércol de equinos y limos inorgánicos, o por láminas metálicas, arquitectura cuyo mayor exponente era la Catedral de Manizales que se incendia en 1926.

Si en algún lugar de Colombia la guadua ha sido factor fundamental del paisaje natural y del patrimonio arquitectónico nativo, es en la ecorregión cafetera donde la gran riqueza de su construcción vernácula se basa en el uso de esta bambusa, en cuyo estudio se han ocupado la Universidad Nacional de Colombia y la UTP abordando los ámbitos socio-económicos, tecnológicos y arquitectónicos de los sistemas constructivos, como la Universidad de Caldas y la CRQ en las componentes agronómica y biótica de la guadua. Además de la utilidad que presta el rodal como regulador hídrico de las quebradas, en el control de la erosión del suelo y como hábitat de la biodiversidad, este “acero vegetal” liviano de rápido crecimiento, resistencia y manejabilidad, ha servido como material de construcción en formaleas, andamios o como elemento estructural en columnas y vigas, y usado para muebles, herramientas, artesanías, canales de conducción de agua, trinchos, postes, juegos e instrumentos musicales, o para materia prima del papel y leña, entre otros.

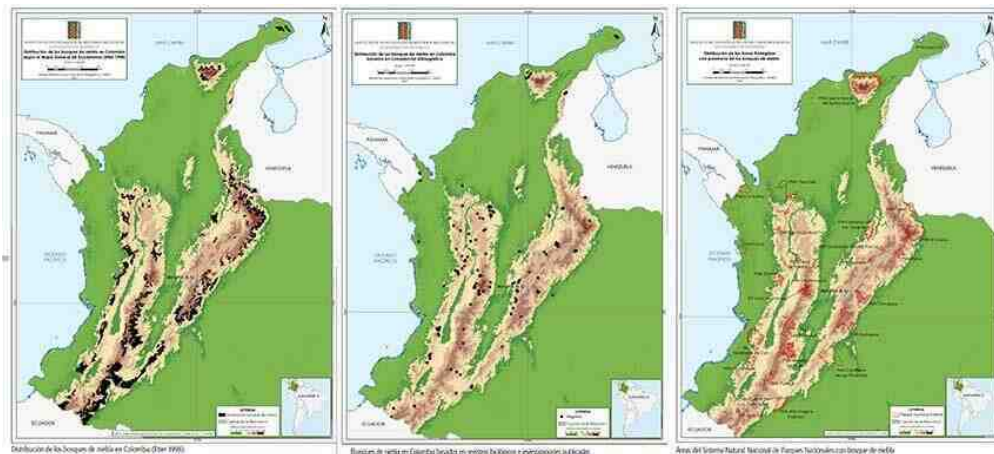
Cualquier cafetero por sus vivencias exitosas asociadas a los beneficios cotidianos de la guadua, sabe que en lugar de llevar los cafetales hasta la quebrada debería recuperar los bosques de galería sembrando guaduales para proteger los cauces. Y hoy podría hacerlo soportado en las acciones de las autoridades ambientales orientadas a incidir en un modelo agropecuario y ambiental que reconoce la importancia de la guadua como alternativa económica y cultural para el desarrollo rural, e inspiradas en una política ambiental que busca prevenir la deforestación y propiciar el uso y manejo de los rodales naturales de guadua en el marco de la adaptación al cambio climático y la problemática del agua. Actualmente las CAR de la región cafetera, han construido y consolidado un esquema de gobernanza forestal, soportado en cuatro elementos: 1) el acompañamiento técnico brindado a los actores forestales, 2) los ajustes normativos para el acceso legal a los aprovechamientos, 3) la atención a los usuarios buscando la reducción del tiempo en los tramites, y 4) el fortalecimiento del mercado legal no sólo de la guadua sino de la madera.

Lo anterior lo consignamos en las “Lecciones aprendidas entorno a la legalidad y sostenibilidad de la guadua” (2012), publicación de la Corporación Autónoma Regional del Risaralda CARDER elaborada en el marco del proyecto Posicionamiento de la Gobernanza

Forestal en Colombia, donde se trata la problemática de la legalidad y de la sostenibilidad de esta preciosa gramínea, una de las especies nativas más representativas de los bosques andinos, declarada planta emblema de Caldas según Decreto 1166 de octubre 20 de 1983. Similarmente, la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS y la Cámara de Comercio de Manizales, en el trabajo "Microclúster de la guadua" (2003), su prólogo "El milagro de la guadua" de Mario Calderón Rivera, recuerda que esta especie que formó no solo el hábitat que creó la gesta colonizadora, sino todo un universo cultural, por la captura de CO₂ podría jugar un papel de primer plano en el desarrollo del protocolo de Kioto.

Pero, así Jorge Villamíl haya visto los guaduales "danzar al agreste canto que dan las mirlas y las cigarras" y Simón Vélez con el empleo estético en sus notables creaciones arquitectónicas haya exaltado las virtudes sísmo-resistentes de la guadua, no hemos sabido valorarla: de conformidad con lo consignado en ambos documentos, en los últimos dos siglos la extensión de guaduales en el país se redujo ostensiblemente: se pasa de unos doce millones de hectáreas a sólo cincuenta mil, de las cuales cerca de 20 mil hectáreas están en la zona cafetera y 6 mil en Caldas.

Nuestros bosques de niebla en riesgo



Estos ecosistemas únicos y de gran valor por su biodiversidad y como reguladores del ciclo hídrico y fuentes de estabilidad climática, podrían desaparecer en Colombia donde el modelo de ocupación del suelo entra en conflicto con su frágil estructura ecológica, en especial por la ganadería y el urbanismo como factores disipadores de su atmósfera húmeda y brumosa.

Si queremos preservar los escasos relictos de dichas selvas nubladas que en Colombia llegaron a sumar 9,7 millones de hectáreas, de las que sólo resta la cuarta parte, habrá que mitigar el riesgo frente a la amenaza antrópica mediante acciones judiciales efectivas, y de protección, recuperación y adaptación al cambio climático.

De lo contrario, los pocos bosques andinos nubosos que aún no hemos arrasado, y que aparecen entre 1800 y 3000 msnm, en mayor proporción sobre las vertientes occidentales de las cordilleras Occidental y Central (caso Río Blanco), podrían correr la misma suerte de los guaduales del país, poáceas representativas de nuestros andes tropicales que durante

los últimos dos siglos cambiaron su extensión de doce millones de hectáreas a solo cincuenta mil, 20 mil de estas en el Eje Cafetero y 6 mil en Caldas.

En la región andina estos frágiles ambientes húmedos caracterizados por la neblina perenne, son un portento ya por la biota propia con variedad de epífitas, musgos, líquenes, hongos y helechos; ya por la alta riqueza de anfibios, con 121 especies en la Cordillera Central, 118 en la Occidental y 87 en la Oriental, (Cavelier et al. 2001); ya por las especies endémicas y en vía de extinción que albergan, como gallarias, tucanes, dantas de páramo, tapires, osos de anteojos, palmas, credelas y prunas.

Se estima que sólo el 2,5% de los bosques tropicales del mundo son nublados. Allí, el aire proveniente de regiones bajas, húmedas y cálidas, aporta humedad que en lugar de precipitarse se condensa, garantizando la vida de especies que dependen de un ambiente de saturación hídrica perdurable. De ahí la gravedad del daño que suele ser irreversible cuando se alteran los ciclos biogenéticos, en estos ecosistemas montanos de nuestros andes, considerados fundamentales para el mantenimiento de las fuentes de agua y como sumideros de carbono, y como complemento del banco de germoplasma por sus plantas silvestres tropicales parientes de especies domesticadas.

Según el Instituto Humboldt IAvH, la literatura especializada registra en el Eje Cafetero los siguientes bosques nublados: Caldas, en Manizales (Río Blanco) y Aranzazu (El Laurel); Quindío, en Salento (cuenca alta río Quindío y Reserva Acaime) y Génova (Servia y Mirlas); Risaralda, en Pereira, (Ucumarí, SFF Otún Quimbaya y La Suiza), Santa Rosa de Cabal (La Selva y la reserva Campoalegre), Mistrató (Alto de Pisones y El Empalmado), Pueblo Rico (Siato y PNN Tatamá) y Santuario (Los Planes). Faltarían otros, varios incluidos en áreas protegidas.

Si dentro del rango de altitudes de dichos bosques, aún continúan incidiendo factores severos que comprometen dichos ecosistemas, cuando se trate de bosques de niebla vitales, donde la amenaza gravita comprometiendo la prestación de servicios ambientales esenciales y la biodiversidad, tal cual ocurre en Río Blanco, Chec y Cocora, por qué no aplicar el principio precautelar, y proceder con una figura de PNN para blindarlos, o en su defecto con una declaratoria de sujeto de derechos como alternativa última que les queda a los bosques de niebla para su pervivencia en Colombia, y luego retomar el programa del IAvH (2007) trazando nuevas metas de conservación y uso sostenible de la biodiversidad, a la luz de las nuevas problemáticas de nuestros bosques tropicales nubosos en la región andina, para actualizar la información sobre biodiversidad, reformular las políticas y metas que tenían alcance al 2010.

Lo anterior permitiría, controlar los factores que los continúa diezmado, e incorporar la amenaza del cambio climático no contemplada entonces por el IAvH, como fenómenos determinantes de primer orden para la pérdida de biodiversidad, y el deterioro de los servicios ambientales en áreas de baja altitud vecinas a centros urbanos importantes de las cuencas de la región andina, que es donde persisten las actividades y cambios de uso del suelo, que conllevan los impactos severos sobre los bosques nublados que hoy se extienden desde las selvas subandinas hasta el páramo. [Ref.: La Patria. Manizales, 2020.03.8]

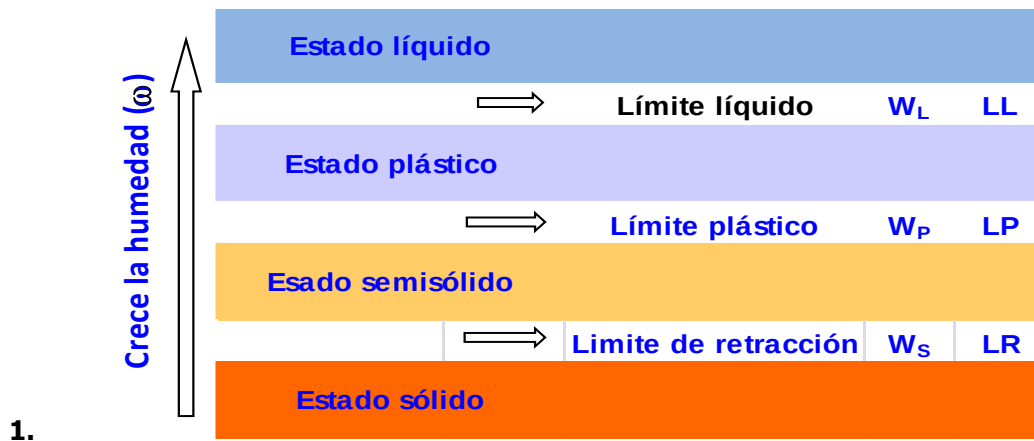
CAPÍTULO 4

CONSISTENCIA Y PLASTICIDAD.

Etimológicamente, consistencia equivale a capacidad de mantener las partes del conjunto integradas, es decir, estabilidad y coherencia. En mecánica de suelos sólo se utiliza para los suelos finos que, dependiendo del contenido de agua y de su mineralogía, fluyen sin romperse.

La consistencia de la arcilla seca es alta y húmeda es baja.

Atterberg (1911) establece arbitrariamente tres límites para los cuatro estados de la materia, así:



2. **Tabla 4.1** Límites para los cuatro estados de los suelos finos Atterberg 1911.

Un suelo está en estado líquido (arcilla o limo muy húmedos) cuando se comporta como un fluido viscoso, deformándose por su propio peso y con resistencia al corte casi nulo.

Al perder agua, ese suelo pierde su fluidez, pero continúa deformándose plásticamente; dado que pierde su forma, sin agrietarse. Si se continúa con el proceso de secado (de la arcilla o limo), el suelo alcanza el estado semisólido, si al intentar el moldearlo se desmorona. Si se seca aún más, hasta un punto en el cual su volumen ya no se reduce por la pérdida de agua y el color toma un tono más claro, el estado del suelo se define como sólido.

El estado plástico se presenta en un rango estrecho de humedades, comprendidas entre los límites líquido (LL) y plástico (LP). Este rango genera el Índice de Plasticidad "IP", definido así:

$$IP = W_L - W_P \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{diferencia de contenido de} \\ \text{humedades en los LL Y LP} \end{array} \right. \quad [4.1]$$

En consecuencia, los límites de Atterberg son contenidos de humedad del suelo, para suelos finos (limos, arcillas), solamente. Los índices son rangos de humedad.

4.1 Índice de fluidez (I_f). Medida de la consistencia o la facilidad relativa con que un suelo puede deformarse espontáneamente dada por la relación numérica entre: a) La diferencia entre el contenido de agua de un suelo y su límite plástico, y b) su índice de plasticidad.

$$I_f = \frac{\omega - \omega_P}{IP} * 100 \quad (\text{en } \%) \quad [4.2]$$

Si $I_f \rightarrow 100\%$, el suelo en campo está cerca al LL; si $I_f \rightarrow 0\%$, el suelo en campo está cerca al LP. Pueden presentarse arcillas con $I_f < 0$, cuando $\omega < \omega_P$.

La plasticidad de un suelo se atribuye a la deformación de la capa de agua adsorbida alrededor de los minerales y en las arcillas, por su forma aplanada (lentejas) y pequeño tamaño, es alta, dependiendo, la plasticidad del suelo, del contenido de arcilla. Skempton (1953) expresó esta relación matemáticamente con la actividad A de la arcilla, mediante la fórmula 4.3, así:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de arcilla}} \Rightarrow \% \text{ de arcilla} = \% \text{ en peso } W_S \text{ de partículas con } \phi < 2\mu\mu \quad [4.3]$$

- La actividad de la caolinita es baja; Ejemplo, $A = 0.38$
- La actividad de la illita es media; Ejemplo, $A = 0.90$
- La actividad de la montmorillonita es alta. Ejemplo, $A = 7.20$

Tabla 4.2. ACTIVIDAD DE LAS ARCILLAS

Arcilla	Superficie Específica m^2/gr	Actividad (Skempton)	Índice Plástico	LL
Montmorillonita	500-800	0.5 a 7.2	$>>50$	(?)Tixotrópico
Illita	60-120	0.3 a 0.9	33-50	60-90
Caolinita	20-40	0.1 a 0.4	1-40	30-75

Fuente: Gabriel Márquez y Alberto J. Martínez (Adaptado)

4.2 El límite líquido LL. Es el contenido de humedad (LL) requerido para que una muestra en el aparato de Casagrande, (Figura 4.1),

cierre una ranura de $\frac{1}{2}$ " de amplitud a los 25 golpes, generados en la cápsula de bronce, con un ritmo de dos golpes por segundo (Ejercicio 4.1).

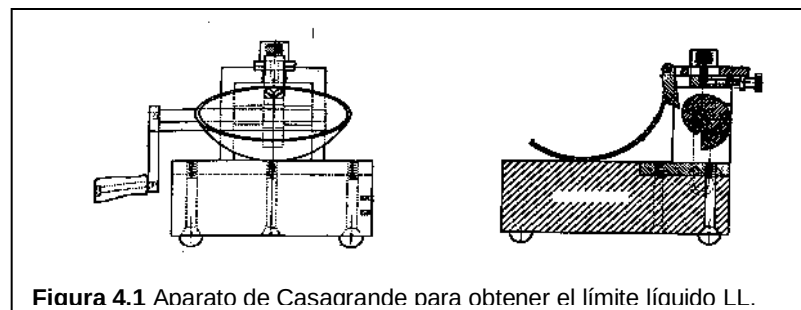


Figura 4.1 Aparato de Casagrande para obtener el límite líquido LL.

4.3 El límite plástico (L_P). Es el menor contenido de humedad (ω_P) para el cual el suelo se deja moldear. Esto se dice cuando, tomando bolas de suelo húmedo, se pueden formar rollitos de $1/8''$ sobre una superficie plana, lisa y no absorbente. Sin agrietarse, el suelo no alcanza el L_P , y si se presentan múltiples grietas tampoco se tiene el L_P .

4.4 El límite de retracción (L_R) (o Límite de Contracción). Contenido de humedad para el cual el suelo sometido a secado, mantiene constante su peso. Se coloca en una cápsula el suelo húmedo ($\omega > \omega_L$) y se determina su peso W_i y su volumen V_i , siendo V_i también el volumen de la cápsula. Se seca el suelo en la estufa y se obtiene su peso W_f y volumen V_f . El problema está en obtener V_f , el cual se logra conociendo el peso del mercurio desplazado por el suelo seco, operación que es delicada; así se tiene:

$$LR = \frac{(W_i - W_f) - (V_i - V_f) \gamma_w}{W_f} * 100 \quad [4.4]$$

En donde $(V_i - V_f)\gamma_w$ es el peso del agua perdida y $(W_i - W_f) - (V_i - V_f)\gamma_w$ es el peso del agua en la muestra cuando está en el límite de retracción.

El L_R se denomina también **límite de contracción** del suelo.

4.5 Índice de consistencia, I_c

Es una medida de la consistencia o facilidad relativa con que un suelo puede ser deformado, dada por la relación numérica entre a) la diferencia entre límite líquido y el contenido de agua de un suelo, y b) su índice de plasticidad.

$$\frac{\omega - \omega_L}{\omega - \omega_P}$$

4.6 Índice de retracción, IR . Este, indica la amplitud del rango de humedades dentro del cual el suelo se encuentra en estado semisólido.

Tabla 4.3- Consistencia de Arcillas saturadas V.S. Resistencia a la Compresión Inconfinada

Consistencia	Muy blanda	Arcilla Blanda	Medianamente compacta		Arcilla Compacta	Muy compacta	Arcilla Dura
Qu (kg/cm²)	< 0,25	0,25 a 0,5	0,5 a 1,0		1,0 a 2,0	2,0 a 4,0	> 4,0
Fuente: Terzaghi y Peck, 1980							

Tabla 4.4- Compresibilidad Vs. Cc y LL

Compresibilidad	Índice de Compresión Cc	Límite Líquido WL
Ligera a baja	0 a 0,19	0 a 30
Moderada a Media	0,20 a 0,29	31 a 50
Alta	40	>51
Fuente: Sowers y Sowers. Londres 1978.		

Tabla 4.5- PARÁMETROS TÍPICOS PARA SUELOS EN ESTADO NATURAL

Nombre descriptivo	Porosidad n (%)	Rela. D vacíos e	Hum de S. W sat%	PU Seco (gr/cm³)	PU Saturado
Arena uniforme, floja	46	0.85	32	1.43	1.89
Arena uniforme, densa	34	0.51	19	1.75	2.09
Arena gradada, floja	40	0.67	25	1.59	1.99
Arena gradada, densa	30	0.43	16	1.86	2.16
Arcilla glacial balda	55	1.2	45	1.22	1.77
Arcilla glacial dura	37	0.6	22	1.70	2.07
Arcilla blanda algo orgánica	66	1.9	70	0.93	1.58
Arcilla blanda muy orgánica	75	3.0	110	0.68	1.43
Arcilla blanda montmorillonítica	84	5.2	194	0.43	1.27
Gabriel Márquez Cárdenas, 1987.					

Tabla 4.6- DENSIDAD DE SÓLIDOS, EN MINERALES

Mineral	Gs	Mineral	Gs	Mineral	Gs
Cuarzo	2.65	Haloisita	2.0-2.55	Moscobita	2.75-3.1
Caolinita	2.6	Feld. Potásico	2.57	Hornblenda	3.0-3.47
Illita	2.8	Clorita	2.6-2.76	Limonita	3.6-4.0
Montmorillonita	2.65-2.80	Biotita	2.8-3.2	Olivino	3.27-3.37

Fuente: Braja M. Das. 2001

Tabla 4.7- GRADOS DE SATURACIÓN EN SUELOS

Denominación	Grado de saturación (%)
Seco	0 - 25
Húmedo	25 - 50
Muy húmedo	50 - 80
Altamente saturado	80 - 95
Saturado	95 - 100

Alberto J. Martínez Vargas, 1990

EJERCICIOS

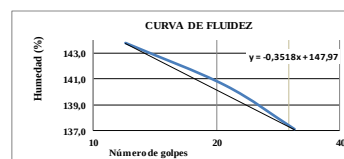
Ejercicio 4.1.

Calcular los siguientes valores de la plasticidad de los suelos

FECHA:	SONDEO N°:		3			
PROYECTO:	MUESTRA N°:		5			
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD:		7,5 m			
DESCRIPCIÓN:	Suelo arcillosos de color gris con vetas de color habano		HOJA:	1 DE 1		
LÍMITE DE ATTERBERG			LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
Determinación N°	1	2	3	1	2	3
Número de golpes	31	21	12			
Recipiente N°	46	23	17	8	1	
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	29,62	27,32	25,55	20,60	19,75	
Recipiente+ Suelo seco (gr)	17,13	15,63	14,55	14,53	13,90	
Peso del agua (gr)	12,49	11,69	11,00	6,07	5,85	
Peso recipiente (gr)	8,02	7,31	6,90	6,43	6,00	
Peso suelo seco (gr)	9,11	8,32	7,65	8,10	7,90	
Humedad (%)	137,10	140,50	143,79	74,94	74,05	
LÍMITE LÍQUIDO	139,2					
LÍMITE PLÁSTICO	74,5					
ÍNDICE PLÁSTICO	64,7					

%)

CURVA DE FLUIDEZ



FECHA:	SONDEO N°:		1	
PROYECTO:	MUESTRA N°:		1	
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD:		1,5 m	
DESCRIPCIÓN:	Suelo de color pardo oscuro arenoso con orgánico		HOJA:	1 DE 1

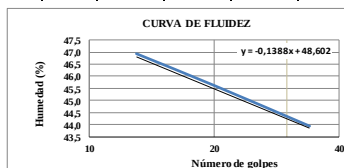
LÍMITE DE ATTERBERG		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Determinación N°	1	2	3	1	2	3	
Número de golpes	34	20	13				
Recipiente N°	26	31	18	11	1		
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	22,00	19,75	18,10	17,31	16,90		
Recipiente+ Suelo seco (gr)	18,26	16,10	14,66	14,77	14,51		
Peso del agua (gr)	3,74	3,65	3,44	2,54	2,39		
Peso recipiente (gr)	9,75	8,10	7,33	6,20	6,48		
Peso suelo seco (gr)	8,51	8,00	7,33	8,57	8,03		
Humedad (%)	43,95	45,63	46,93	29,64	29,76		

LÍMITE LÍQUIDO	45,1
LÍMITE PLÁSTICO	29,7
ÍNDICE PLÁSTICO	15,4

47,5

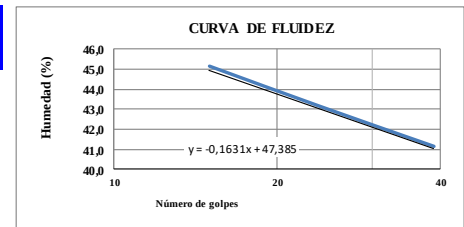
CURVA DE FLUIDEZ

$w = 0,1388 + 48,602$



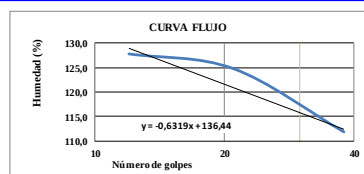
FECHA:	SONDEO N°: 1					
PROYECTO:	MUESTRA N°: 4					
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD: 6,0 m					
DESCRIPCIÓN:	Limo arcilloso de color gris pardo con partículas meteorizadas			HOJA: 4	DE 16	
LÍMITE DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Determinación N°	1	2	3	1	2	3
Número de golpes	39	24	15			
Recipiente N°	20	6	17	31	16	
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	24,42	21,90	22,00	19,75	18,80	
Recipiente+ Suelo seco (gr)	20,19	17,59	17,77	17,15	16,27	
Peso del agua (gr)	4,23	4,31	4,23	2,60	2,53	
Peso recipiente (gr)	9,91	7,60	8,40	7,10	6,40	
Peso suelo seco (gr)	10,28	9,99	9,37	10,05	9,87	
Humedad (%)	41,15	43,14	45,14	25,87	25,63	

LÍMITE LÍQUIDO	43,3
LÍMITE PLÁSTICO	25,8
ÍNDICE PLÁSTICO	17,6



FECHA:	SONDEO N°: 12					
PROYECTO:	MUESTRA N°: 6					
LOCALIZACIÓN:	PROFUNDIDAD: 7,8 m					
DESCRIPCIÓN:	Suelo limo arcilloso de color amarillo con vetas de color blanco			HOJA: 1	DE 1	
LÍMITE DE ATTERBERG	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Determinación N°	1	2	3	1	2	3
Número de golpes	38	21	12			
Recipiente N°	43	21	9	8	17	
Recipiente+ Suelo húmedo (gr)	32,25	31,09	29,92	23,02	21,01	
Recipiente+ Suelo seco (gr)	21,03	19,16	17,46	16,37	15,73	
Peso del agua (gr)	11,22	11,93	12,46	6,65	5,28	
Peso recipiente (gr)	11,00	9,60	7,71	6,60	8,03	
Peso suelo seco (gr)	10,03	9,56	9,75	9,77	7,70	
Humedad (%)	111,86	124,79	127,79	68,07	68,57	

LÍMITE LÍQUIDO	120,6
LÍMITE PLÁSTICO	68,3
ÍNDICE PLÁSTICO	52,3



Ejercicio 4.2.

Calcular los siguientes valores de plasticidad de las muestras de suelo y hacer la clasificación.

sondeo No	Muestra No	Profundidad m	Wn (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip	P ₂₀₀	SUCS
1	1	0,5	34,6	54,1	31,5	22,6	85,0	
1	2	1,5	34,0	44,9	29,7	15,2	60,6	
1	3	3,0	52,8	54,0	37,4	16,6	69,9	
1	4	4,0	38,2	54,9	33,1	21,8	88,8	
1	5	4,0	29,7	43,0	25,7	17,3	75,9	
1	6	6,7	32,3	39,6	25,0	14,6	85,5	
2	1	0,2	37,0	58,8	32,1	26,7	75,8	
3	3	1,8	47,6	67,9	38,6	29,3	85,3	
5	1	1,5	36,7	42,8	32,7	10,1	39,8	
5	2	3,0	96,1	132,7	69,7	63,0	89,1	
5	3	4,0	52,6	61,8	37,9	23,9	71,9	
5	4	6,0	59,0	69,7	38,8	30,9	91,9	
5	5	7,0	30,1	39,7	29,0	10,7	81,1	
6	3	4,0	46,7	59,6	36,9	22,7	78,6	
6	4	6,2	47,9	68,5	41,2	27,3	83,4	
8	3	4,0	51,7	64,1	40,1	24,0	68,8	
8	4	5,5	42,9	54,1	34,8	19,3	80,9	
9	3	4,0	41,7	55,8	33,6	22,2	63,3	

Wn Humedad natural
Wl Límite líquido
Wp Límite plástico
Ip Índice de plasticidad
P₂₀₀ Fracción pasa tamiz No 200
SUCS Sistema Unificado de Calsificación de suelos

SONDEO No	MUESTRA No	PROFUNDIDAD (m)	LL%	LP%	IP%	PT ₂₀₀ (%)	SUCS
1	1	6,0	60	44,9	15,1	56,4	
1	2	8,0	105,7	75,8	29,8	70,6	
1	3	12,0	67,4	47,3	20,1	60,4	
1	4	14,0	60,0	44,9	15,1	56,4	
3	2	18,0	71,2	58,5	12,7	70,4	
4	3	17,0	52,2	41,7	10,5	63,7	
5	3	17,5	165,8	127,2	38,6	90,3	
6	2	13,0	140,1	103,6	36,5	70,2	
7	2	15,0	149,2	106,0	43,2	58,2	
7	3	16,5	58,0	47,9	10,2	78,2	
8	3	15,5	52,7	42,9	9,9	57,9	
9	2	14,0	93,6	71,8	21,8	74,9	
9	3	15,0	57,3	43,2	14,2	58,3	
10	2	11,0	68,9	50,0	19,0	63,8	
14	1	6,1	90,4	63,3	27,1	54,9	
14*	2	3,5	82,9	59,9	23,0	69,5	
16	2	4,0	110,9	79,3	31,6	82,2	
16	3	8,0	80,0	56,8	23,2	55,2	
17	2	6,5	50,1	40,7	9,3	55,6	
18	2	4,5	50,1	33,3	16,7	71,6	
19	1	5,0	87,6	62,5	25,0	82,3	
20	2	10,0	88,5	63,2	25,2	64,7	
20	3	12,0	79,3	47	32,4	70,1	
24	2	9,5	69,8	43,2	26,6	70,5	
25	2	8,5	102,1	84,2	17,9	57,8	
25	3	11,0	51,0	29,2	21,8	59,9	
26	2	9,0	142,4	118,9	23,6	55,1	
26	3	12,0	83,5	49,7	33,9	84,1	

DOCUMENTOS DE COMPLEMENTO ON LINE:

[Ciclo geológico – PDF Capítulo 1:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Materia y energía – PDF Capítulo 2:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Tierra sólida y fluida - PDF Capítulo 4:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Minerales\) – PDF Capítulo 5:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Intemperismo o meteorización - PDF Capítulo 8:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Tiempo geológico – PDF Capítulo 10:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Geología estructural – PDF Capítulo 11:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Macizo rocoso – PDF Capítulo 12:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Montañas y teorías orogénicas - PDF Capítulo 14:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Movimientos masales PDF Capítulo 16:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Aguas superficiales – PDF Capítulo 17:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Aguas subterráneas – PDF Capítulo 18:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Geomorfología – PDF Capítulo 20:](#) *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

[Consistencia del Suelo – Límites de Atterberg – Índices.](#) Blog de Santiago Osorio R.

[Guía de Laboratorio para obtener los Límites de Atterberg.](#) Fuente: trabsuelos.blogspot.com

[Introducción a algunas propiedades fundamentales de los suelos.](#) Ing. Julio Roberto Nadeo U.T.N. e Ing. Julio Roberto Nadeo U.N.L.P. Argentina. See more at:

[Manual de geología para ingenieros.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Ver versiones para lectura del Manual de geología 2020, en Calameo: [Vol I](#) y [Vol II](#)

LECTURA 4: EL CUIDADO DE LA CASA COMÚN: AGUA Y CLIMA



Imagen 1: Parque Nacional Natural Los Nevados, en Colombia.com

Presentación

La Encíclica Laudato Si' al ocuparse de las problemáticas del calentamiento global con sus eventos climáticos extremos y de la crisis del agua, nos invita a reflexionar sobre las consecuencias ambientales de un modelo de desarrollo deshumanizado, soportado en el consumo que, al instrumentalizar la naturaleza para explotarla y favorecer la ocupación conflictiva del territorio, avanza sobre los ecosistemas estratégicos atentando contra la vida y generando graves consecuencias sociales, ambientales y económicas.

Veamos el caso de Colombia donde urgen la presencia del Estado y el compromiso de la sociedad para desarrollar acciones estructurales soportadas en políticas públicas y de ordenamiento territorial, y en estrategias de participación social, de educación y de apoyo sectorial para avanzar en la solución de los grandes conflictos ambientales del país.

Introducción

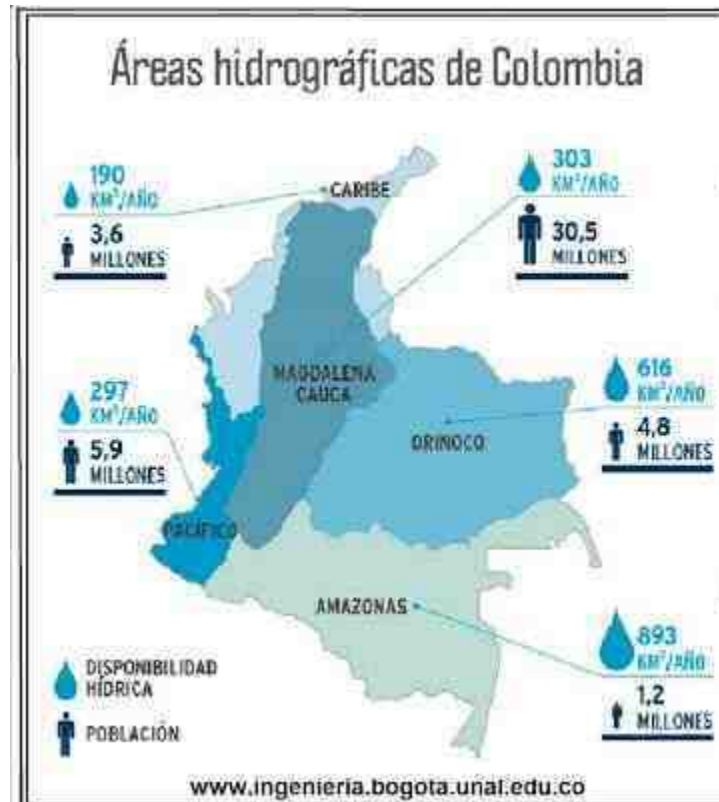


Imagen 1: Áreas hidrográficas de Colombia. ENA Colombia),
en: www.ingenieria.bogota.unal.edu.co

Con precipitaciones anuales promedio de 1.800 mm y unas 720 mil cuencas hidrográficas, Colombia alcanza una oferta de 7.859 kilómetros cúbicos de agua superficial y subterránea, de los cuales el 25% son las aguas de las escorrentías anuales.

Pero a pesar de dicha abundancia, cada año deforestamos 300 mil hectáreas, lo que significa destruir una fuente de agua, y estamos vertiendo 200 toneladas de mercurio a nuestros ríos y quebradas.

A este panorama se añade que, como consecuencia del calentamiento global, mientras en los años secos nuestra oferta hídrica ya se ha reducido el 38%, en las épocas invernales de La Niña sufrimos las consecuencias de graves inundaciones que dejan cerca de 2 millones de damnificados por temporada.

Las cuencas hidrogeológicas más utilizadas en el país son las ubicadas en el Valle del Cauca, Valle Medio y Superior del Magdalena, y Cordillera Oriental. Siguen en importancia por su uso, las del Golfo de Urabá, Golfo de Morrosquillo y departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar y la Guajira.

Dinámicas del Clima andino

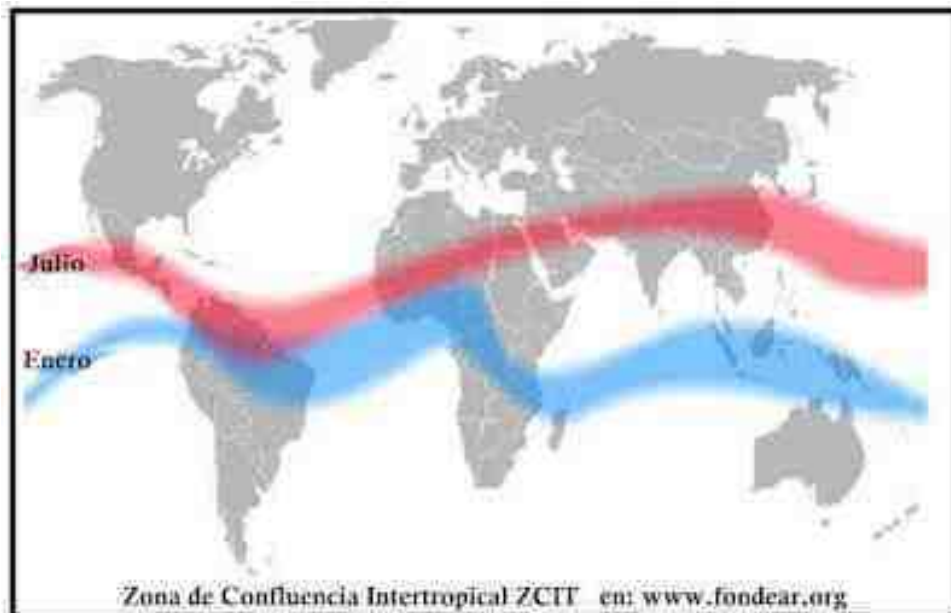


Imagen 2: dinámica anual de la ZCIT, en: www.fondear.org

Sabemos que en la región andina de Colombia, el clima es bimodal: cada año tenemos dos temporadas secas que parten desde los equinoccios (junio 21 y diciembre 22), y dos húmedas a partir de los solsticios (marzo 21 y septiembre 22).

El fenómeno meteorológico del ENSO conocido como El Niño y La Niña, se explica por anomalías de temperatura en el Océano Pacífico, que se constituyen en freno para el desplazamiento natural y regular de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT, esa franja de bajas presiones en la zona Ecuatorial que con su dinámica explica el clima bimodal colombiano.

En los períodos de El Niño, las temporadas de invierno y verano del año son más secas para la zona andina colombiana, y más frecuentes e intensos los huracanes del Caribe. Durante La Niña, ocurre lo contrario: temporadas más húmedas a lo largo del año, con menos tormentas tropicales.

Aunque el desarrollo del ENSO es de carácter cíclico y comportamiento errático, a largo plazo la fuerza de este fenómeno puede cambiar como consecuencia del calentamiento global, generando eventos climáticos extremos como inundaciones o sequías en diferentes regiones del planeta.

Mientras para Colombia el fenómeno El Niño se manifiesta con un déficit de lluvias, en Perú y Bolivia lo hace con lluvias torrenciales.

Eventos climáticos extremos

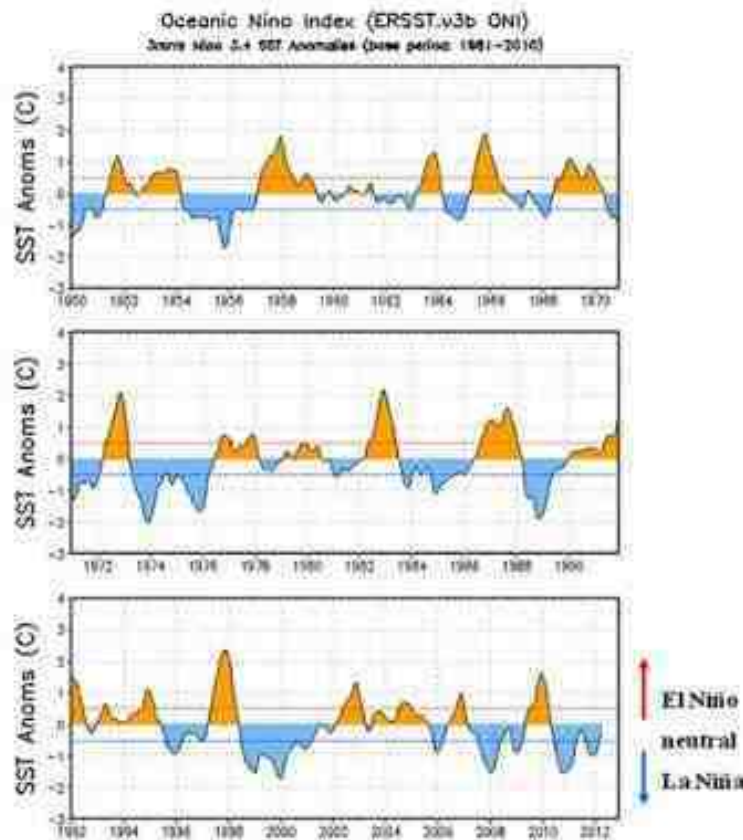


Imagen 3: Eventos de anomalía observados en intervalos anuales en la temperatura oceánica. Según NOAA.

Astrónomos y geofísicos soportados en correlaciones, pueden afirmar que cuando el Sol está tranquilo la Tierra permanece fría, aunque no sabemos el porqué de los cambios de la actividad del Sol.

Hubo una “pequeña glaciación” asociada a un periodo frío ocurrido entre 1550 y 1850, en el que se presentaron tres picos fríos (1650, 1770 y 1850); dicha pequeña edad del hielo acompañada de lluvias, coincidió con un período de baja actividad en las manchas solares. Para entonces, la superficie de los glaciares del PNIN que hoy apenas supera 10 kilómetros cuadrados alcanzó cerca de 100 kilómetros cuadrados

Al observar las dos últimas Niñas 2007/8 y 2010/11, pese a su condición intrínseca similar y calificación de sus niveles como moderados, los efectos dejan ver una dinámica creciente del calentamiento global que anuncia consecuencias cada vez intensas, tal cual lo advertimos en la segunda Niña al observar la Sabana de Bogotá convertida en una “Venecia” y la lista de 30 municipios colombianos como Gramalote, que afectados por las olas invernales requieren reasentamiento, 20 de ellos fuera de su jurisdicción.

Cambio climático: donde y cuanto

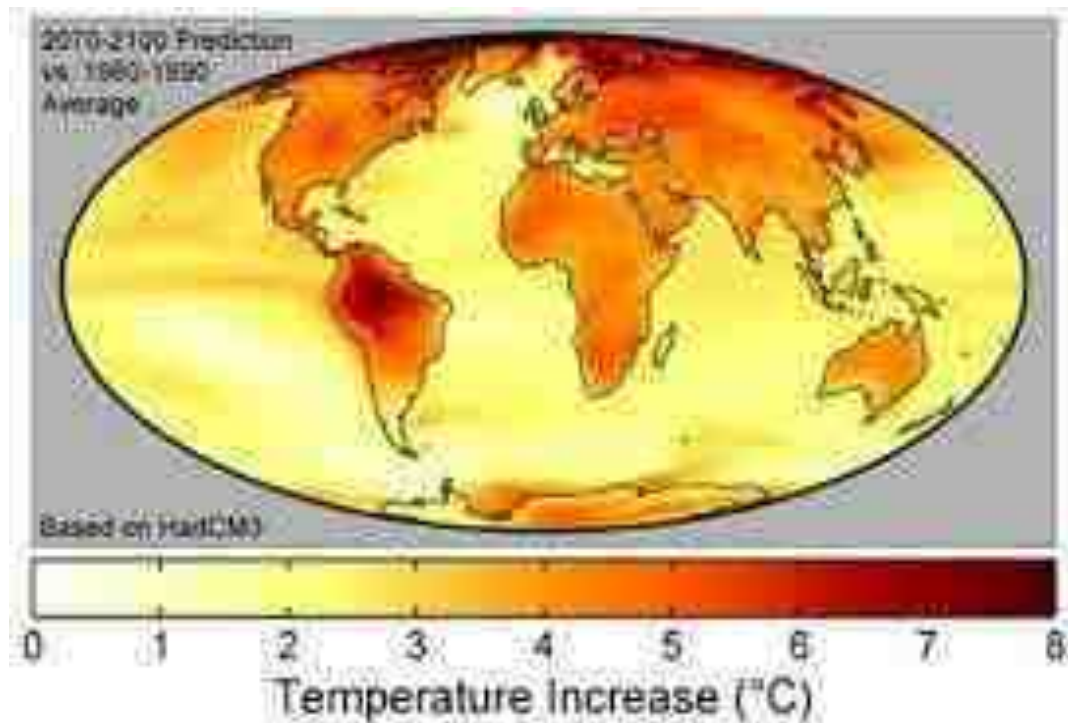


Imagen 4: Pronóstico global de incremento de la temperatura para el cambio climático, en: apod.nasa.gov

Al subir la temperatura del planeta este siglo, entre 1,8° y 4° C de acuerdo a las características que presenten diferentes zonas, como consecuencia de la fusión de los glaciares también se incrementará el nivel medio de los océanos entre 18 y 59 centímetros dependiendo de la gravimetría de cada lugar.

Además de un incremento alto del nivel del mar en el Caribe, las cuantías del calentamiento esperadas para Colombia son del orden de +3° C en la Región Andina y de +4° C en nuestras regiones costeras y de la Orinoquia y la Amazonía; Cada variación en 1°C en el régimen de temperatura media, altera la base climática de los ecosistemas en 170 metros de altitud.

Para no exceder el límite de 2°C antes del 2050, a nivel mundial habrá que reducir: el 80% del carbón, la mitad del gas y un tercio del petróleo que se destina como combustible.

Ahora, en razón al calentamiento global, sólo tenemos 40 años para explotar nuestro carbón, aprovechando que nuestras reservas estimadas en 7 mil millones de toneladas medidas, están constituidas por un mineral abundante y de calidad, que tendría uso preferencial en industrias de alto consumo energético: es un carbón duro, de alto poder calorífico y bajo contenido de azufre.

Minería y deforestación



Imagen 5: coberturas boscosas en Colombia: IDEAM, en: valorandonaturaleza.org

El país tiene severos problemas de calidad en la mitad del patrimonio hídrico, dado el vertimiento de 9 mil toneladas de materia orgánica contaminante por año que llegan a los acuíferos y cuerpos de agua proveniente del sector agropecuario y residencial, a las que se suman otras sustancias como las 200 toneladas anuales de mercurio proveniente de la actividad minera.

Colombia con una producción de 56 toneladas de oro por año, que con sus pretensiones legales ha venido amenazando los ecosistemas de paramo y donde el 80% proveniente de una minería ilegal emplea malas prácticas, por volumen producido ocupa el puesto decimocuarto a nivel mundial y el segundo en Sudamérica.

Mientras que por superficie, la cobertura de bosques del país llega al 53.5% y la de humedales al 2,7%, cada año deforestamos cerca de 300 mil ha, 100 mil de ellas en la región Andina que con el 24% de la superficie continental y el 75% de la población, solamente posee el 13% de la oferta de agua superficial y subterránea del patrimonio hídrico de agua dulce del país.

Según la Defensoría del Pueblo, en Colombia, de 1122 municipios 521 consumen agua sin tratamiento alguno, el 70% de ellos con riesgo para la salud y en el 21% sanitariamente inviable.

Humedales

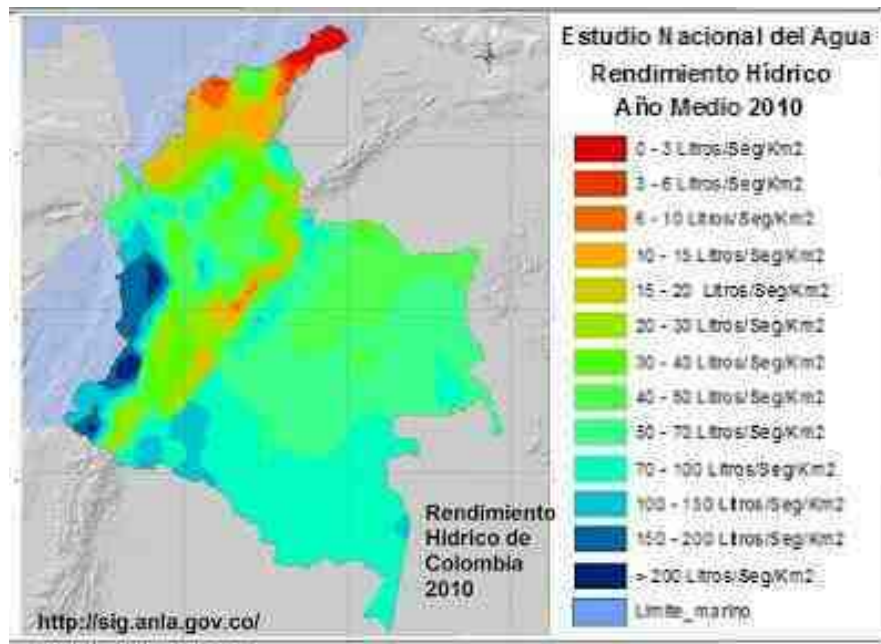


Imagen 6: Rendimiento hídrico en Colombia, cuyas cuantías entre la alta Guajira (rojo) y bajo Atrato (azul), varían de 1 a 200 litros por segundo por kilómetro cuadrado. ENA Himat. <http://sig.anla.gov.co>

Según el Instituto Alexander von Humboldt, en 20 millones de hectáreas equivalentes a cerca del 17% de nuestra superficie continental, tenemos 31.702 humedales, de los cuales el 48% están en nuestras Orinoquia y Amazonia. Pero cerca del 93% de estos ecosistemas, al estar amenazados por acciones antrópicas y por el cambio climático, requiere figuras de conservación.

Al observar el mapa preliminar de humedales de Colombia, aunque por la escala no se visibilizan turberas y otros humedales de páramo y bosques andinos que regulan los caudales de las regiones más pobladas de Colombia y que contribuyen a las dinámicas del clima.

Sobresalen por su extensión varios reservorios, como marismas y manglares en la costa del Pacífico desde el sur de Tribugá hasta el río Mira, y en especial sobre el delta del Patía donde aparece Tumaco; o ciénagas y madre viejas en corrientes de meandros, como las comprendidas entre el río Meta y el piedemonte de la Cordillera Oriental; o las rondas del río Guaviare y en parte del Vichada e Inírida; además de las vaguadas del Putumayo, Caquetá y Vaupés; y el valle del Atrato aguas abajo de Vigía del Fuerte, y en parte del San Juan; o en regiones como el Magdalena Medio y Bajo y el Bajo Cauca, donde a pesar de ecocidios agroindustriales, mineros, etc., sobresalen, además de la Ciénaga Grande de Santa Marta, La Mojana, la Depresión Momposina y el área del Sinú-San Jorge.

Las cuentas del agua



Imagen 7: Mapa de rocas permeables y porosas de Colombia. IGAC (2002), en: <http://www.zonu.com/>

Mientras en grandes regiones como Australia y EE.UU. el 60% del agua utilizada proviene del subsuelo, en Colombia, donde el 31% del agua dulce está contenida en acuíferos y la Ley ha tenido que legislar para proteger los páramos, hace falta garantizar el carácter patrimonial y de bien público del agua subterránea.

Aunque en el país las cuencas hidrogeológicas con posibilidades de aprovechamiento abarcan el 74% del territorio, según el estudio "Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia" del IDEAM (2005), mientras el 56% de dicha área corresponde a la Orinoquía, Amazonía y Costa Pacífica, y el 31,5% a la región Caribe e Insular, sólo el 12,5% está en la Región Andina, que es la más densamente poblada.

La gran cuenca del Magdalena – Cauca (24% del área total del territorio) que es la que presenta la mayor afectación ambiental, con sólo el 10,6% de la oferta hídrica nacional, debe soportar el 70% del PIB y el 75% de la población.

En 2008 la participación del agua en el PIB nacional fue del 10% (incluido un 2% por la hidroelectricidad), además los costos económicos de la contaminación hídrica ascendieron

al 3,5% del PIB; y según el Banco Mundial el costo oculto de la mala calidad del agua y de los servicios de saneamiento, podría ascender al 1% del PIB.

Agua y bosques en Caldas

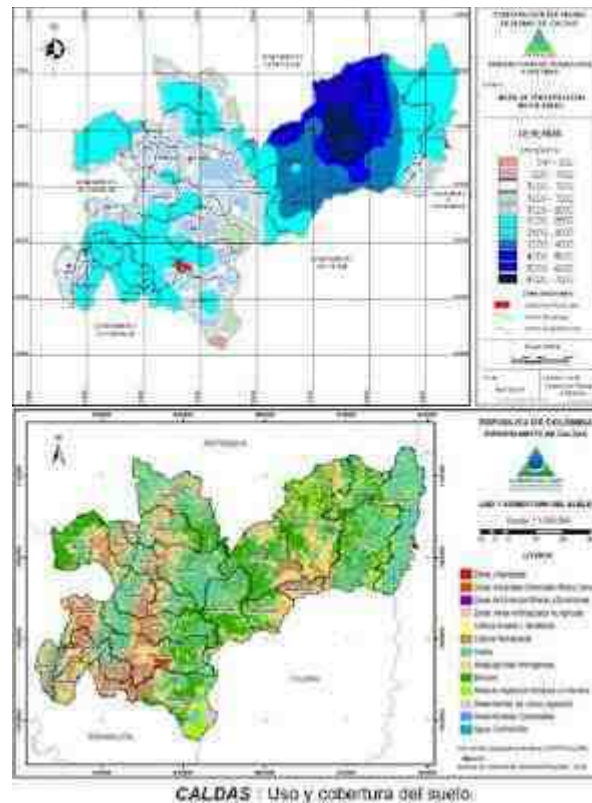


Imagen 8: Precipitación y Coberturas en Caldas. Fuente, Corpocaldas.

Según Corpocaldas, de una extensión de 744 mil Ha, las coberturas verdes del departamento en 2010 eran: 163 mil Ha en bosques (22%), 265 mil Ha en cultivos (36%) y 300 mil Ha en pastos y rastrojos (40%), tres cuantías que cubren el 98% de su escarpado y deforestado territorio. Aún más: en la Ecorregión Cafetera. Mientras las superficies aptas para pastos y bosques son en su orden del 4% y 54%, según Alma Mater las coberturas actuales en dichos usos llegan al 49% y 19%, respectivamente.

En cuanto al sistema subterráneo de Caldas, sobresalen las zonas de recarga de páramo y de la gran cobertura boscosa de la alta cordillera, o del extenso Valle del Magdalena y las regiones del Oriente caldense, donde la copiosa precipitación explica un recurso hídrico excedentario susceptible de aprovechamientos hidroenergéticos responsables. Igualmente, como acuíferos están: el gran acuífero del Magdalena, el valle del Risaralda y el sector de Santágueda.

Mientras en el Oriente caldense el patrimonio hídrico es abundante, al norte de Irra resulta deficitario dado el carácter impermeable de las rocas, la baja precipitación, la inexistencia de acuíferos y el estado de deforestación de las cuencas.

El patrimonio hídrico más comprometido del departamento, es el de la Cuenca del Río Chinchiná para el caso de la Subregión Centro-Sur; pero también a nivel municipal existen potenciales problemas asociados al riesgo para el suministro de agua en Marmato y Riosucio, Salamina, La Merced y Filadelfia.

Dicha vulnerabilidad asociada al déficit severo de agua, igualmente amenaza a Quinchía, Marsella, Apía, Balboa y Cartago, de conformidad con la información de Alma Mater y el SIR.

Epilogo



Imagen 9 y 10: La guadua, planta emblema de Caldas, en Villegas Editores; y Loro Multicolor, ave emblema de Caldas, en ornitologiacaldas.org

Señala el Papa Francisco en su encíclica Laudato Si, que “El clima es un bien común, de todos y para todos.... La humanidad está llamada a tomar conciencia de la necesidad de realizar cambios de estilos de vida, de producción y de consumo, para combatir este calentamiento”.

El Desarrollo de dichas políticas públicas ambientales, será fundamental para enfrentar la problemática del riesgo asociado al del cambio climático, y a la crisis del agua que se expresa en descontrol hídrico y pluviométrico, y en sequías y desabastecimiento de agua.

En la ecorregión, se deberán emprender políticas públicas para darle coherencia a las acciones ambientales y sociales del PCC, incluyendo el tema del calentamiento global. Para corregir el uso conflictivo del suelo, y en particular para resolver la enorme problemática de la deforestación y potrerización, el sector agropecuario deberá implantar la agroforestería, y el ganadero emplear las practicas silvopastoriles.

El Nuevo Ordenamiento Territorial en cada Plan de Desarrollo, deberá Implementar políticas de ciencia y tecnología imbricadas con la cultura, para resolver la brecha de productividad que sume en la pobreza a los medios rurales que en el caso de Caldas suma 270 mil habitantes.

Dice la encíclica papal Laudato Si, que “El agua potable y limpia representa una cuestión de primera importancia, porque es indispensable para la vida humana y para sustentar los ecosistemas terrestres y acuáticos.”

Habrá que hacer ajustes y trazar nuevos enfoques en las políticas públicas del país y en el ordenamiento territorial en materia de adaptación al cambio climático, dotándolas de una orientación socio-ambiental, y redefiniendo el verdadero carácter del agua, el suelo y la biodiversidad, erróneamente considerados un recurso y como tal un objeto de mercado, y no un patrimonio inalienable.

De lo contrario, además de hacer inviable el territorio, en uno o dos siglos como máximo, en nombre de un modelo de desarrollo deshumanizado y centrado en el crecimiento económico, y por lo tanto en el consumo, en virtud de las falencias de un Estado débil y de una sociedad indolente y no previsiva, habremos agotado la biodiversidad del país.

Gracias

Ponencia para la Jornada Académica Laudato si : El cuidado de la casa común. Auditorio Santo Domingo de Guzmán, Universidad Católica de Manizales, 25 de Octubre de 2016.

ENLACES U.N.

Agua como bien público. Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales. Aprendizajes en procesos participativos de reconversión productiva.. Bosques, Cumbre del Clima y ENSO. Calentamiento global en Colombia. Colombia geoestratégica. Colombia, país de humedales amenazados. Colombia Tropical �y el agua qué? CTS, Economía y Territorio. Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial. El fantasma de la imprevisión. El futuro de la ciudad: caso Manizales.	El por qué de los aguaceros en Colombia. El Río Cauca en el desarrollo de la región. El territorio de los Ansermas de la cultura Umbr�. El territorio del Gran Caldas. “La Tierra del Café”. El territorio del río Grande de la Magdalena. El volcán y el desastre de Armero. Geotecnia para el Trópico Andino. Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero.	Legalidad y sostenibilidad de la guadua. Manizales. �ciudad del agua? Más espacio y oportunidades para el ciudadano. Noroccidente de Caldas: un territorio forjado en Oro. Panela y Café. Muelle de Tribugá: �es posible el desarrollo sostenible? Paisaje y región en la Tierra del Café. Ríos urbanos para Manizales. Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera. Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero. Vida y desarrollo para el territorio del Atrato.

CAPÍTULO 5

CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

Resolver un problema de geotecnia supone conocer y determinar las propiedades del suelo. Por ejemplo:

- 1) Para determinar la velocidad de circulación del agua en un acuífero, se mide la permeabilidad del suelo, se utiliza la red de flujo y la ley de Darcy.
- 2) Para calcular los asentamientos de un edificio, se mide la compresibilidad del suelo, valor que se utiliza en las ecuaciones basadas en la teoría de la consolidación de Terzaghi.
- 3) Para calcular la estabilidad de un talud, se mide la resistencia al corte del suelo y este valor permite construir expresiones de equilibrio estático.

En otros problemas como los vinculados con los pavimentos, no se dispone de expresiones racionales para lograr soluciones cuantificadas. Por esta razón se requiere una taxonomía de los suelos, en función de su comportamiento, y eso es lo que se denomina clasificación de suelos, desde la óptica geotécnica.

Agrupar suelos por la semejanza en los comportamientos, correlacionar propiedades con los grupos de un sistema de clasificación, aunque sea un proceso empírico, permite resolver multitud de problemas sencillos. Eso ofrece la caracterización del suelo por la granulometría y la plasticidad. Sin embargo, el ingeniero debe ser precavido al utilizar esta ayuda valiosa, ya que las soluciones a problemas de flujos, asentamientos o estabilidad soportados sólo en la clasificación, puede llevar a resultados desastrosos.

Las relaciones de fases constituyen una base esencial de la Mecánica de Suelos. El grado de compacidad relativa de una arena es seguro indicador del comportamiento de ese suelo. La curva granulométrica y los Límites de Atterberg, de gran utilidad, implican la alteración del suelo y los resultados no revelan el comportamiento del suelo inalterado o in situ.

5.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.

Los suelos granulares o finos, según se distribuye el material que pasa el tamiz de $3'' = 75 \text{ mm}$; el suelo es denominado "**fino**" cuando más del 50% pasa el Tamiz número 200 (T_{200}), como se observa en la curva C de la figura 3.9. Si no ocurre, el material es "**granular**" y será grava o arena.

a. Los suelos granulares se designan con estos símbolos

Prefijos

G	Grava	El 50% o más es retenido en el T_4 . Es el caso de la curva A de la figura 3.9
S	Arena	Sí más del 50% pasa el T_4 . Es el caso de la curva B de la figura 3.9

W	bien gradado	P	mal gradado	Depende del C_u y C_c . Ver 3.4 en granulometría
M	Limoso	C	Arcilloso	Depende de W_L y el IP . Ver línea A en la Carta de Plasticidad de SUCS

En donde:

T: Tamiz

C_u : Coeficiente de uniformidad

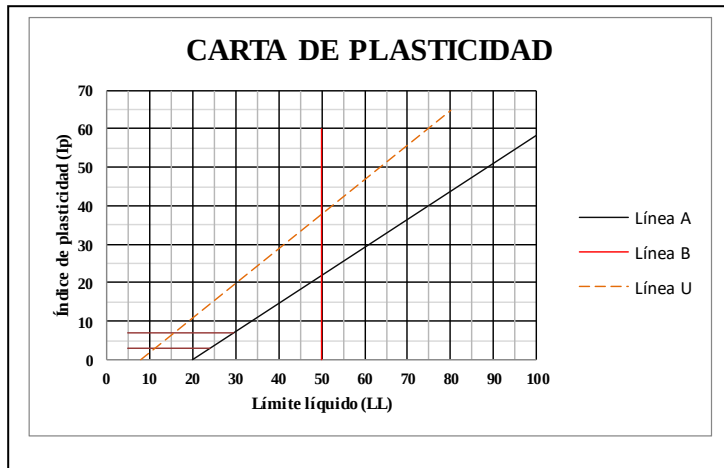
C_c : Coeficiente de curvatura

Si menos del 5% pasa el T_{200} , el suelo es granular limpio y los sufijos son W o P, según los valores de C_u y C_c ; si más del 12% pasa el T_{200} , el suelo es granular contaminado con finos y los sufijos son M (limo), y o C (arcilla), dependiendo de W_L e IP. Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, el material granular está lo suficientemente contaminado con finos que tiene comportamiento entre lo granular y los finos, en este caso se utilizan sufijos dobles (clase intermedia), como ocurre para un suelo denominado GW-GC.

b. Los suelos finos se designan con estos símbolos.

Prefijos		Sufijos	
M	Limo	L	Baja plasticidad ($W_L < 50\%$)
C	Arcilla	H	Alta plasticidad ($W_L > 50\%$)
O	Orgánico	Se debe reportar este suelo	
	o	En la Carta de Plasticidad L y H están separados por la línea B.	
		Suelos por debajo de la línea A	

Esta clasificación está basada sólo en los límites de Atterberg para la fracción que pasa el T_{40} , y se obtiene a partir de la llamada CARTA DE PLASTICIDAD así:



$$\begin{cases} \text{Línea A : } I_p = 0,73(LL - 20) \\ \text{Línea U : } I_p = 0,9(LL - 8) \end{cases}$$

Sobre la línea A: arcillas inorgánicas.

Debajo de la línea A: limos y arcillas orgánicas.

La línea B: $LL = 50$ separa H de L

NOTA: G = gravel; W = well; C = clay; P = poor; F = fair; M = mud; S = sand; L = low; H = high; O = organics; Pt = pest

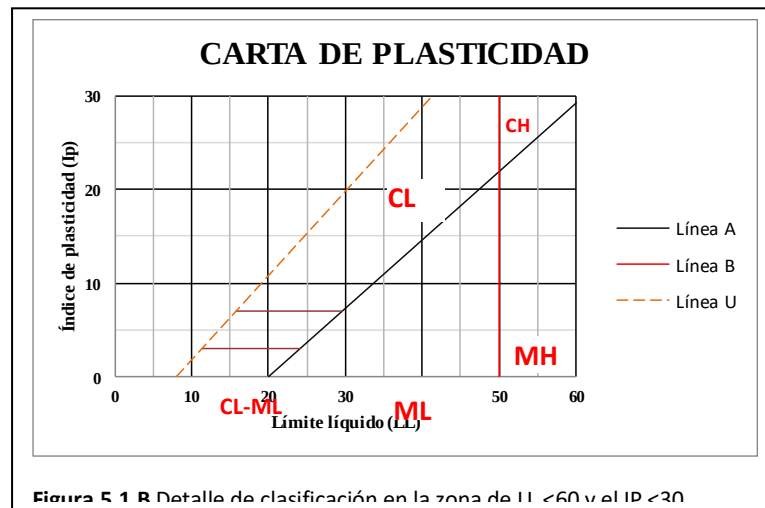


Figura 5.1 B Detalle de clasificación en la zona de $LL < 60$ y el $IP < 30$

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP	Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
GM	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
GC	Grava arcillosa, mezclas grava–arena arcillosas.
SW	Arena bien gradada.
SP	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM	Arenas limosas, mezclas arena – limo.
SC	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
OL	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

– **Tabla 5.1** Nombres típicos de los materiales.

Este sistema propuesto por Arturo Casagrande (1942) lo adopta el cuerpo de Ingenieros de EE.UU. en los aeropuertos y actualmente, es ampliamente utilizado en el mundo, al lado del sistema de la AASHTO o el de la ASTM, todos basados en los LIMITES Y LA GRANULOMETRÍA.

– **5.1.1.1 Definición del Grupo SUCS, con la CARTA DE PLASTICIDAD**

Se han definido, para gravas (G) y arenas (S), la situación W o P de acuerdo a dos coeficientes: C_u y C_c (Sección 3.4) ¿cuándo se dice que es GM, GC, SM o SC? (ver la carta de plasticidad de la figura 5.1A)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{GM} \Rightarrow \text{Debajo de la línea A o } IP < 4 \\ \text{GC} \Rightarrow \text{Sobre la línea A o } IP > 7 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Sobre la línea A con} \\ 4 < IP < 7 \Rightarrow \text{doble símbolo} \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{SM} \Rightarrow \text{Debajo de la línea A o } IP < 4 \\ \text{SC} \Rightarrow \text{Sobre la línea A o } IP > 7 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{En la zona sombreada con} \\ 4 \leq IP \leq 7 \Rightarrow \text{doble símbolo} \end{array}$$

Adicionalmente, como se señaló atrás (Sección 5.1)

- GW, GP, SW, SP exigen que MENOS del 5% del suelo pase el T_{200}
- GM, GC, SM, SC exigen que MAS del 12% del suelo pase el T_{200}
- Si el porcentaje de finos está entre 5% y 12%, se requiere doble símbolo.

Grupo	VALORACIÓN ATRIBUTOS				APTITUDES SEGÚN USOS	
GW	+++	++	+++	+++	Mantos de presas, terraplenes, erosión de canales.	
GP	++	+++	++	+++	Mantos de presas y erosión de canales.	
GM	++	-	++	+++	Cimentaciones con flujo de agua.	
GC	++	--	+	++	Núcleos de presas, revestimientos de canales.	
SW	+++	++	+++	+++	Terraplenes y cimentación con poco flujo.	
SP	m	++	++	++	Diques y terraplenes de suave talud.	
SM	m	-	++	+	Cimentación con flujo, presas homogéneas.	
SC	++	--	+	+	Revestimiento de canales, capas de pavimento	
ML	m	-	M	m	Inaceptable en pavimentos, licuable.	
CL	+	--	M	m	Revestimiento de canales, pero es erodable.	
OL	m	-	--	m	No recomendable, máximo si hay agua.	
MH	--	-	-	---	Inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable)	
CH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentación (hinchable)	
OH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentaciones o terraplenes.	
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	Facilidad de tratamiento en obra	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Sobresaliente	+++
					Muy alto	++
					Alto	+
					Moderado	m
					Deficiente	-
					Bajo	--
					Muy bajo	---

Tabla 5.2 Características y uso de los suelos (Grupo del SUCS)

– Ejercicio 5.1

Con base en las curvas de gradación de la Figura 3.8, en el ejercicio 3.1 y demás datos, clasificar esos mismos suelos.

Suelo A: Suelo granular sin finos (67% de la fracción granular se retiene en el $T_4 = 4,75$ mm); $C_u = 50$ y $C_c = 2 \Rightarrow$ GW

Suelo B: Suelo granular sin finos (33% de la fracción granular se retiene en el $T_4 = 4,75$ mm); $C_u = 2,4$ y $C_c = 1,1 \Rightarrow$ SP

Suelo C: Suelo fino-granular (45% de este suelo se retiene en el $T_{200} = 0,075$ mm). Se agregan como datos nuevos que: $\omega_L = 40\%$; $\omega_P = 18\%$; $I_P = 22\%$; como $LL < 50$; $IP > 7$ (Sección 5.1) $\Rightarrow$ CL

Suelo D: Suelo fino-granular (más de la mitad, 61%, pasó el T_{200}). Se agrega que $LL = 65$ y que $IP = 20$, como $LL > 50$, la plasticidad es alta y como $IP = 20$, está bajo la línea A. De acuerdo a la CARTA, dos posibilidades MH u OH, para evaluar los datos de campo. Y esa evaluación $\Rightarrow$ MH

5.2 Clasificación de la AASHTO.

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1.929 y adoptado por la "American Association of State Highway Officials" entre otras. Es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes.

Clasificación General		Materiales granulares 35% o menos pasan la malla 200							Materiales limosos y arcillosos más del 35% pasa la malla No 200				
Grupos		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
		A-1-a	a-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis por mallas.	10	50 Max											
% que pasa la malla	40	30 Max 50 Max											
No	200	15Max 25 Max		10 Max	35 Max	35 Max	35 Max	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	
Característica de la fracción que pasa la malla 40	LL			40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	41 Min	41 Min
	LP	6 Max 6 Max		NP	10 Max	10Max	11 Min	11 Min	10 Max	10 Max	11 Min	11 Min	11 Min
Índice de grupo		0 0		0	0	4 Max	8 Max	4 Max	8 Max	12 Max	16 Max	20 Max	20 Max
Tipo usual de materiales constituyentes		Piedra Grava Arena		Arena Arena limosa o arcillosa, arena				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
Comportamiento general como subbase		EXELENTE A BUENO					ACEPTABLE A MALO						

Nota: En la división A-7, cuando IP > 30, el grupo A-7-5. Si el IP < 30 el grupo es A-7-6

Tabla 5.3. Clasificación AASHTO

Los grupos de suelos son 7, subdivididos en otros más (para llegar a 12)

a) Grueso granulares: 35% o menos pasa el T₂₀₀ comprende

A-1, si menos del 20% pasa el T₂₀₀ y menos del 50% pasa el T₄₀

A-2, si menos del 35% pasa el T₂₀₀, (limoso o arcilloso).

A-3, si menos del 10% pasa el T₂₀₀ y 51% o más pasa el T₄₀

b) Suelos fino granulares (grupo limo arcilla): más del 35% pasa el T-200

A-4 si IP ≤ 10 (limo) y LL ≤ 40%

A-5 si IP ≤ 10 (limo) y LL ≥ 41%

A-6 si IP ≥ 11 (arcilla) y LL ≤ 40%

A-7 si IP ≥ 11 (arcilla) y LL ≥ 41%

En consecuencia: A-1 = cascajo y arena; A-3 = arena fina; A-2 = cascajos y arenas limosas o arcillosas; A-4 y A-5 suelos limosos, y A-6 y A-7 suelos arcillosos

A-1 y A-3 son suelos excelentes y buenos, A-2 buenos y moderados, y A-6 y A-7 son suelos de moderados a pobres.

Grupo Suelos.	Permeabilidad	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capilaridad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.	Valoración escala.
A-1	++	---	--	-	++	++	++	+ Sobresaliente.
A-2	-	++	+	m	-	M	+	+ Muy alto.
A-3	+	-	--	-	+	+	+	+ Alto.
A-4	-	+	+-	++	-	-	+-	m Moderado.
A-5	-	m	++	++	---	-	--	- Deficiente.
A-6	---	-	++	++	--	--	-	-- Bajo.
A-7	--	m	++	++	--	--	--	--- Muy bajo.

Tabla 5.4 Características de suelos –según la AASHTO–

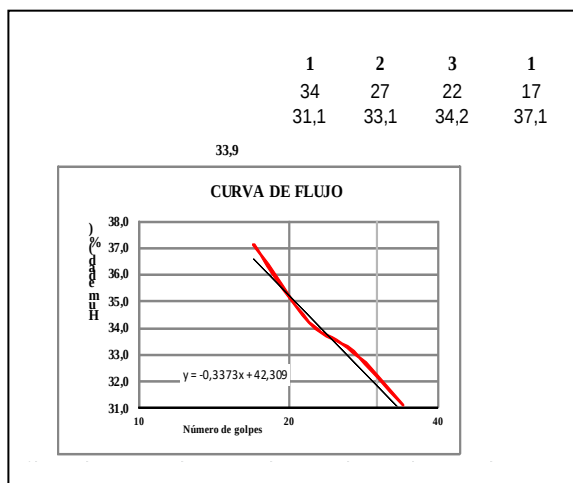
Ejercicio 5.2

Calcular el LL y Fi si se da el papel semilogarítmico de laboratorio, y el número de golpes para 4 contenidos de humedad, en el ensayo con la Cazuela de Casagrande (Figura 4.1)

$$\omega_i = 31,1\%, 33,1\%, 34,2\%, 37,1\%$$

$$N_i = 34, 27, 22, 17 \text{ golpes}$$

R/ Por interpolación, la humedad para N = 25 golpes, da LL = 33,7%.



El **Fi**: Como el gráfico semilogarítmico de N contra ω , da una línea recta, llamada **LÍNEA DE FLUIDEZ**, su pendiente, denominada **ÍNDICE DE FLUJO Fi**, está dada por:

$$Fi = \frac{(\omega_j - \omega_i)}{\log\left(\frac{N_j}{N_i}\right)} \quad Fi = \frac{(31,1 - 37,1)}{\log\left(\frac{34}{17}\right)}$$

R/ El índice de flujo, del suelo anterior, es $Fi = -19,93$

– **Ejercicio 5.3**

Clasifique los siguientes suelos, en el sistema SUCS.

T₂₀₀ T₄	Retenido 20% Pasa: 9,2%	Pasa: 30% Retenido: 10%	Pasa: 8% Retenido: 2%	Retenido: 20% Pasa: 92%	Pasa: 8% Pasa: 60%
C_u C_c	4 1,5	4 2	8 2	4 1,5	7 5
	250% 100%	40% 25%	45% 31%	250% 150%	60% 40%
Observación adicional	Buen contenido de materia orgánica	Pasa el 4 y retiene el 200 60%	Pasa el 4 y retiene el 200 90%	Contenido despreciable de materia orgánica	IP = 20
R /	OH	SC	SW – SM	MH	SP – SM

Nota: en este ejercicio, es fundamental utilizar la Carta de Plasticidad en los suelos finos y los criterios de gradación en suelos grueso-granulares – máximo si hay **suelos de FRONTERA**

– **Ejercicio 5.4**

Clasifique los siguientes suelos, según AASHTO y SUCS.

Suelo	A	B	C	Suelo	A	B	C	
T ₄	----	----	69,3	T ₁₀₀	----	----	19,8	} % más fino que
T ₁₀	65,8	79,5	59,1	T ₂₀₀	21,9	54,3	5,1	
T ₂₀	----	----	48,3	ω _L	34,1 %	53,5 %	(NO PROCEDE)	
T ₄₀	36,1	69,0	38,5	ω _P	16,5 %	31,6 %	(NO PROCEDE)	
T ₆₀	----	----	28,4	IP	17,6	21,9	(NO PROCEDE)	

A: Arcilla arenosa y limosa, parda clara

B: Arcilla limosa, trazos de grava; parda oscura

C: Arena muy gravosa, gruesa parda media (no plástico)

Solución: **I** según la AASHTO (Sección 5.2)

– Suelo A: IP = 17,6 > 10. Además 21,9% pasa T₂₀₀ ⇒ **A-2**

– Suelo B: IP = 21,9 > 10. Además 54,3% pasa T₂₀₀ ⇒ **A-7**

– Suelo C: Es grueso granular y sólo 38,5% pasa T₄₀ ⇒ **A-1**

Solución II Según la SUCS (Figura 5.1, Sección 5.1.1.1)

- **Suelo A:** Menos del 50% pasa el T_{200} y más del 50% pasa el T_4 : Será SM o SC, porque más del 5% pasa el T_{200} . De acuerdo a la CARTA DE PLASTICIDAD y la descripción es CL; en consecuencia, no pudiendo ser limo, es $\Rightarrow$ **SC**.
- **Suelo B:** Es fino granular, pues más del 50% pasa el T_{200} . Como $LL > 50\%$ es MH, OH o CH (ver CARTA DE PLASTICIDAD). Por la dificultad de leer exactamente su localización, $f(IP, LL)$ el cálculo es $IP = 0,73(53,5 - 20) = 24,4 > 21,9$, quedando el suelo por debajo de la línea A. Por la descripción es $\Rightarrow$ **MH**.
- **Suelo C:** Asumamos $5,1\% \approx 5\%$. Haciendo la curva granulométrica $C_u = 23,3$; $C_c = 0,5$ (mal gradado). Entre T_4 y T_{200} , 62,4% (restar) del material se retiene y su denominación es arena; entonces $\Rightarrow$ **SP**

Ejercicio 5.5

Clasificar los siguientes suelos.

RESUMEN ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS								
Sondeo No	Muestra No	Profundidad (m)	Wn (%)	WI (%)	Wp (%)	Ip	P_{200}	SUCS
1 m	1 B	1,50	28,7	31,7	27,9	3,8	30,9	
1 m	3 B	4,50	50,4	52,2	-	NP	29,1	
3 m	2 B	3,00	37,3	40,0	-	NP	27,3	

RESUMEN ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS								
Sondeo No	Muestra No	Profundidad (m)	Wn (%)	WI (%)	Wp (%)	Ip	P_{200}	SUCS
1 m	1 Sh	3,0	44,9	64,5	47,3	17,2	81,6	
1 m	3 Sh	6,0	46,6	65,4	36,8	28,6	72,8	
2 m	2 Sh	6,0	46,1	67,7	36,6	31,1	79,7	
3 m	2 Sh	6,0	44,9	52,4	46,7	5,7	64,3	
5 m	1 Sh	1,0	32,1	49,5	34,0	15,5	43,4	

RESUMEN ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS									
Sondeo No	Muestra No	Profundidad (m)	Wn (%)	WI (%)	Wp (%)	Ip (%)	P_4 (%)	P_{200} (%)	SUCS
1 M	2 SPT	2,0	31,1	38,8	35,5	3,2	94,1	26,2	
1 M	4 SPT	4,0	40,5	51,1	43,9	7,3	97,0	33,4	
1 M	5 SPT	5,0	18,1	NL	-	NP	90,9	12,0	
1 M	7 Lv	8.0 - 10.0	18,5	NL	-	NP	93,9	3,9	
2 M	1 SPT	1,0	11,4	NL	-	NP	71,3	17,9	
2 M	7 Lv	4.5 - 6.0	24,8	NL	-	NP	100,0	2,4	
3 M	2 SPT	2,0	20,1	40,6	35,7	4,8	87,1	17,9	
3 M	3 Lv	2.2 - 3.75	1,3	NL	-	NP	98,4	1,1	
3 M	6 Lv	6.0 - 8.0	20,4	22,4	-	NP	99,1	31,3	
4 M	1 SPT	1,0	44,6	57,9	47,9	10,0	100,0	31,6	
4 M	3 SPT	3,0	1,6	24,6	26,2	-1,6	81,1	23,3	
4 M	6 SPT	6,0	35,8	47,3	37,1	10,2	84,8	28,2	
4 M	7 Lv	6.3 - 6.7	25,3	NL	-	NP	84,4	26,5	

Ejercicio 5.6

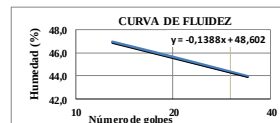
Cálculos para la clasificación de suelos.

	1	2	3	1	2	3
	34	20	13			
	26	31	18	11	1	
	22,00	19,75	18,10	17,31	16,90	
	18,26	16,10	14,66	14,77	14,51	
	3,74	3,65	3,44	2,54	2,39	
	9,75	8,10	7,33	6,20	6,48	
	8,51	8,00	7,33	8,57	8,03	
	43,95	45,63	46,93	29,64	29,76	

ML

ÍNDICE DE GRUPO

183,3 gr

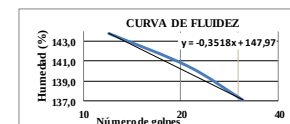


	1	2	3	1	2	3
	31	21	12			
	46	23	17	8	1	
	29,62	27,32	25,55	20,60	19,75	
	17,13	15,63	14,55	14,53	13,90	
	12,49	11,69	11,00	6,07	5,85	
	8,02	7,31	6,90	6,43	6,00	
	9,11	8,32	7,65	8,10	7,90	
	137,10	140,50	143,79	74,94	74,05	

MH

ÍNDICE DE GRUPO

195,2 gr

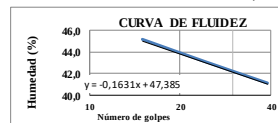


	1	2	3	1	2	3
	39	24	15			
	20	6	17	31	16	
	24,42	21,90	22,00	19,75	18,80	
	20,19	17,59	17,77	17,15	16,27	
	4,23	4,31	4,23	2,60	2,53	
	9,91	7,60	8,40	7,10	6,40	
	10,28	9,99	9,37	10,05	9,87	
	41,15	43,14	45,14	25,87	25,63	

CL

ÍNDICE DE GRUPO

111,9 gr

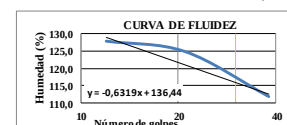


	1	2	3	1	2	3
	38	21	12			
	43	21	9	8	17	
	32,25	31,09	29,92	23,02	21,01	
	21,03	19,16	17,46	16,37	15,73	
	11,22	11,93	12,46	6,65	5,28	
	11,00	9,60	7,71	6,60	8,03	
	10,03	9,56	9,75	9,77	7,70	
	111,86	124,79	127,79	68,07	68,57	

MH

ÍNDICE DE GRUPO

172,3 gr



MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. Duque Escobar, Gonzalo.
Universidad Nacional de Colombia (2020). See more at:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145>

LECTURA 5: CRISIS Y OPCIONES EN EL RÍO GRANDE DE COLOMBIA

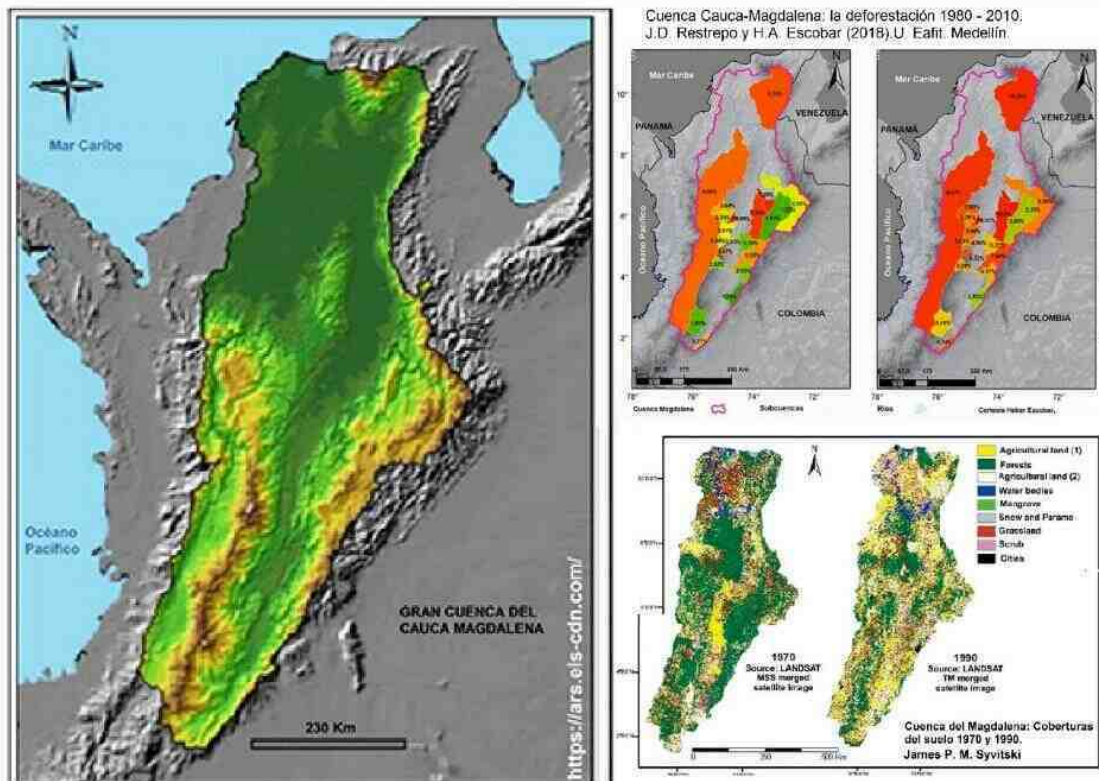


Imagen: Cuenca del Magdalena: Gran Cuenca en [ars-elscdn.com](https://ars.els-cdn.com/), y Cambios de cobertura 1970-1990, y Deforestación 1980-2010. Juan Darío Restrepo y James P. M. Syvitski (2006) y H.A. Escobar (2018)

Por: Gonzalo Duque-Escobar*

El río Magdalena, también llamado río Grande es Colombia, y su puerta de entrada es Barranquilla. La suerte de este río de la patria cuya extensión es de 1613 Km, navegable 990 Km desde su desembocadura en el mar Caribe hasta el Salto de Honda y 400 km más desde allí hasta el departamento del Huila, está comprometida: su manejo y control depende de su apropiación con un enfoque biocéntrico para que prime el respeto de sus derechos bioculturales.

La gran cuenca Magdalena-Cauca, con una extensión de unos 250 mil km cuadrados, equivalentes al 24 % del territorio continental del país, baña 11 departamentos de Colombia: Magdalena, Atlántico, Bolívar, Cesar, Antioquia, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Caldas, Tolima, y Huila, en los cuales vive el 80 % de la población colombiana y se produce el 85 % del PIB nacional y el 90% de la hidroelectricidad;

súmense a los anteriores departamentos, Cesar, Bolívar y Sucre bañados por el río San Jorge, y Quindío por el río La Vieja.

Si para la carga hasta 1930 el vapor fue el principal medio de transporte, en 1940 el modo carretero responde por el 40% contra 30% del ferroviario y 30% del fluvial, y en 2000 el modo terrestre sube a 65%, contra el 30% del ferroviario y 5% del fluvial.

En la gran cuenca, la corriente principal la conforman el Río Magdalena (1,613 km), el Canal del Dique (114 km) y el curso bajo del Río Cauca (187 km). Pero para valorar el daño, basta señalar que, de 1990 a la fecha, la pesca del Magdalena se ha reducido de 80 mil a 7 mil toneladas anuales. El caudal en la desembocadura, que en promedio es de 7.200 m³ por segundo, varía desde 10.287 m³/s en invierno a 4.068 m³/s en verano.

Asumiendo desafíos

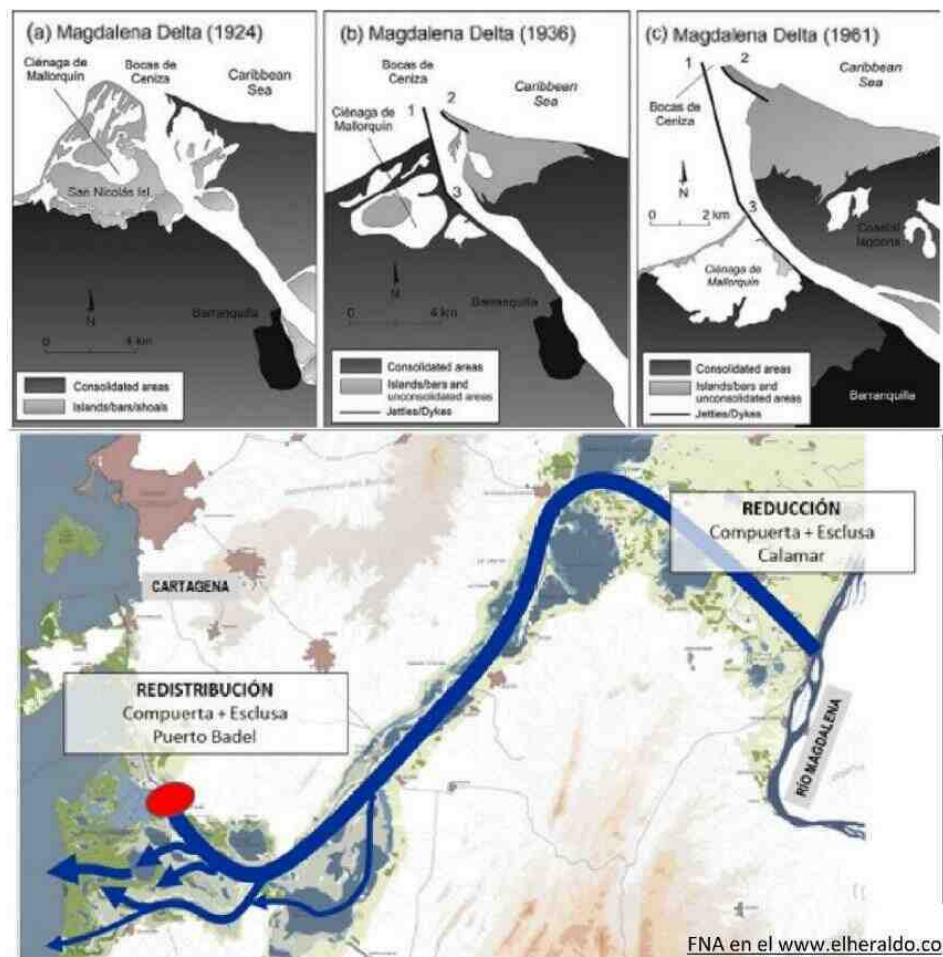


Imagen: Evolución del delta del Magdalena (www.researchgate.net), y Canal del Dique (ANI-El Heraldo).

La deforestación y pérdida de complejos de humedales, como causas que explican el desbordamiento del río reclamando el espacio perdido, sumada a la contaminación por aguas vertidas y no tratadas desde centros urbanos, y por 1200 minas de aluvión que usan mercurio, además de las actividades agroindustriales con su huella hídrica verde, son tres fenómenos que por su impacto sin medida sobre las poblaciones rivereñas y pérdida de ecosistemas ícticos en la cuenca del Río Grande y el Caribe, obligan a preguntarnos qué proyectos de magnitud existen en Colombia que velen radicalmente por la protección del medio ambiente y la preservación de sus ecosistemas más estratégicos.

La fauna y flora, al igual que poblados que ayer eran puertos y hábitat de comunidades de pescadores de la cuenca Magdalena–Cauca y que han debido abandonar su oficios, han visto las consecuencias del desarrollo industrial en Colombia surgido a principios del siglo XX, afectando el ambiente a lo largo del Río Grande, que transitando por biomas de regiones diversas y distantes, y que pese a estar beneficiado por un clima bimodal, padece problemas de regulación hídrica y climática, calidad del agua y pervivencia de los ecosistemas.

Aún más: el cambio climático y uso conflictivo del suelo en la Región Andina, además de plantear amenazas importantes para la biodiversidad, afectando la distribución de especies a diferentes escalas en un escenario complejo con ecosistemas fragmentados, son hechos que invitan a incluir rasgos espaciales diferenciados que propicien una necesaria evaluación adecuada para la identificación temprana de los escenarios de riesgo, con sus dinámicas espacio-temporales, y de los factores específicos que inciden en la amenaza para los ecosistemas amenazados y vulnerables, como para los pobladores ribereños expuestos a sequías e inundaciones en el territorio de la macrocuenca.

El territorio



*Portada: Río Magdalena: Corriente trenzada. Chucuri (2013) Black Drone
in: <https://www.shutterstock.com/>*

Ahora que estamos advirtiendo una gestión relevante del Ministerio Público en casos ambientales emblemáticos como el Río Grande de La Magdalena, debemos subrayar que la Procuraduría, ente creado hace 90 años, por primera vez en Colombia ha mirado a lo largo y ancho del país cada territorio como una construcción social e histórica, y por lo tanto, como un constructo cultural, tal cual lo ha hecho la Corte Constitucional al haber

reconocido como un sujeto de derechos bioculturales al río Atrato mediante Sentencia T-622 de 2016 y a la Amazonía en Sentencia STC3460 de 2018.

Pero si en la cuenca se han perdido tres cuartas partes de los bosques de niebla, cuya extensión llegó a 9,7 millones de hectáreas, la deforestación no para: pese a que actualmente sólo resta menos del 10% de los bosques que existieron inicialmente, al 2013 en la Región Andina se deforestaron 25 mil hectáreas equivalentes al 16% de la deforestación del país. Todo esto se traduce en una erosión que explica una carga de sedimentos de 150 millones de toneladas año en el Magdalena, asociada a una tasa de 690 ton/km²/año superior a las tasas del Amazonas (167 ton/km²/año) y Orinoco (158 ton/km²/año) según Juan Darío Restrepo (2005), lo que se expresa en grandes impactos socioambientales y económicos para el Caribe: además del daño causado en el sistema de ciénagas de la Depresión Momposina propiciando inundaciones en el Atlántico y daños en el Canal del Dique, causando la muerte de corales en los arrecifes de Islas del Rosario, de los que sólo queda el 20%.

La característica contrastante a lo largo de los tramos distales del Magdalena, son sus cuerpos de agua casi permanentes en llanuras aluviales, donde la sedimentación puede estar en la forma de sedimentación léntica difusa (aguas estancadas), deltas de llanuras aluviales y canales desarrollados por extensión de diques subacuáticos. No obstante, las intervenciones

El canal del Dique, bifurcación artificial de 115 km de larga y 100 m de ancha construida en el siglo XVI para conectar Cartagena de Indias con Calamar, en el que las obras e intervenciones acometidas desde 1571 hasta 1984 cuando se reducen de 93 a 50 las curvas, amplía el fondo de 45 a 65 m y profundiza a 2,50 m, no han cesado, e incrementando el caudal medio de 350 m³/s a 540 m³/s, con grave impacto ambiental. Los dragados de rectificación y ampliación, como el realizado entre 1980 y 1984 reduciendo el efecto amortiguador de crecientes de las ciénagas, incrementó los aportes de sedimentos y agua dulce hacia las bahías de Cartagena y Barbacoas, incrementando la afectación a los corales de las islas del Rosario. Según Restrepo y Correa (2014), el Canal del Dique deposita en la Bahía de Cartagena cerca de 3 millones de toneladas por año.

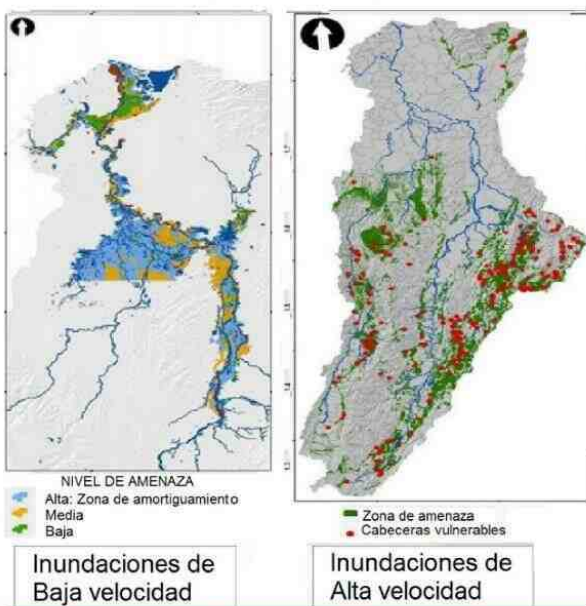
Si actualmente el gobierno de Colombia realiza mantenimientos preventivos para evitar un rompimiento del dique, como el del año 2010 que originó la mayor inundación en el sur del Atlántico, habrá que recordar que aunque se hayan señalado posibles factores detonantes y contribuyentes de las rupturas del Canal a su paso por Santa Lucía, las crecientes como fenómeno cíclico natural del río, y la alta tasa a la susceptibilidad a la erosión asociada a la juventud de los Andes, no pueden en si explicar el desastre del Atlántico ocurrido en 2010: la causa primera de dicha hecatombe, fue la sedimentación del río, asociada a un problema integral, como lo es la cuenca deforestada en más del 80 por ciento.

Ahora que se propone rectificar el canal y dotarlo de esclusas en Calamar y Puerto Badel previendo profundizarlo 3 m y encausar 500 m³/s, deberá considerarse el revestimiento de sus paredes para reducir el riesgo erosivo y las trampas de sedimentos para proteger los ecosistemas marinos afectados.

Humedales

El IDEAM al evaluar la dinámica fluvial del cauce del río Magdalena entre Barrancabermeja y Bocas de Ceniza, para los años 2001 y 2002 encontró que, durante el período 1980-2000, el tramo de 600 km presentó cambios en su trazado y dinámica. Allí, se identificaron como inestables los sectores de Casabe-San Pablo, por alta migración de barras e islas; Pinto-Zambrano, por alta migración del curso y recorte de curvas por fuerte dinámica sinuosa y meandriforme; y San Pablo-Bodega Central, por la moderada sinuosidad que favorece el movimiento del curso del río. Y con comportamiento estable, los tramos de Zambrano-Calamar, donde las colinas confinan el cauce del río; Calamar–Bocas de Ceniza, donde los altos diques controlan el río y reducen su migración; Bodega Central–El Banco, por la ocurrencia de cursos sinuosos y poco móviles; y El Banco–Pinto, por moderada sinuosidad y mínima movilidad del curso.

CUENCA DEL RÍO MAGDALENA: AMENAZA POR INUNDACIONES



Deltas y Estuarios asociados al Río Grande



Imagen: Inundaciones rápidas y lentas en la cuenca del Magdalena. PMA, Cormagdalena, 2017. Deltas y estuarios asociados al Río Magdalena, en <https://www.imeditores.com>

Y en cuanto a los humedales, debe advertirse que los de la Depresión Momposina están siendo transformados en la periferia hacia agroecosistemas, debido a la expansión de la

frontera agrícola y ganadera, ocasionando el fraccionamiento y alteración de su dinámica hídrica (Mavdt, et al., 2003). Este fenómeno es visible en varios de los humedales de la cuenca del Magdalena formando un patrón constante de acortar las márgenes de estos cuerpos de agua. No podemos olvidar que los humedales son de gran importancia no solo por la regulación hídrica, sino porque los ecosistemas de los ríos neotropicales dependen de las llanuras aluviales de desborde, de los lechos de aguas máximas y de los humedales asociados, zonas de inundación de donde los ecosistemas acuáticos adquieren la biomasa que les permite poseer la riqueza de especies de peces.

Entre los cuatro principales estuarios de Colombia, dos están relacionados con la Cuenca del Magdalena, las desembocaduras de los ríos Magdalena, y del Canal del Dique; en la primera zona, la principal laguna costera del país, la Ciénaga Grande de Santa Marta, con una extensión de 450 km²; la segunda zona la Bahía de Cartagena con 82 km² de superficie, que se comporta como un estuario debido al aporte de agua dulce del Canal del Dique.

Además, la presión más importante sobre los humedales, se realiza sobre los pequeños cuerpos de agua y en los sistemas de orillales y diques naturales, que tienden a desconectar los ríos de sus llanuras aluviales de desborde. En el bajo Magdalena, esta situación conflictiva se hace especialmente notoria. Como evidencia, el mal manejo puede llegar a situaciones tan extremas como la de la Ciénaga Grande de Santa Marta, albufera declarada Patrimonio de la Humanidad en 1998, que tiene flujos tan encauzados y controlados por los propietarios de los predios de la zona, que en años de extremo control llegaron a producir la salinización de los bajos y del cuerpo mismo de la ciénaga, causando problemas ambientales severos, aún para la productividad de sus predios.

La desaparición de los pequeños humedales desecados por la falsa "recuperación de tierras" por parte de los dueños de predios, tienen efectos importantes no solo en la biodiversidad y otros servicios ambientales fundamentales para el territorio que no están siendo valorados, sino también en la regulación de los ciclos hidrológicos y por lo tanto en la amenaza por inundaciones y sequías ya exacerbadas por el cambio climático.

Manejo socio-ambiental

Aunque la Ley 161 de 1994, reglamenta la Corporación Autónoma Regional Del Rio Grande De La Magdalena –Cormagdalena- y le define sus funciones, patrimonio y otras obligaciones, lo curioso de este país es que el Plan Maestro del Magdalena elaborado en 2015, y cuyos tópicos fueron la navegación y mejoramiento del canal del río, aprovechamiento de riberas y recursos pesqueros, generación hidroeléctrica, uso del suelo y en particular de la tierra, recreación y gestión integrada, se le encomendó a Hidrochyna, en su jurisdicción. Allí, sin que mediara consulta alguna con los actores primarios, definió y priorizó proyectos en un área de planificación de 69,400 km² de 129 municipios, lo que representa el 26% de la Cuenca, donde al 2010 habitaban 6 millones de colombianos o sea el 17% de la población de la gran Cuenca.

Como ente corporativo especial del orden Nacional, (y de acuerdo a la Ley 161 de 1994), Cormagdalena “está investida de las facultades necesarias para la coordinación y supervisión del ordenamiento hidrológico y manejo integral del río Magdalena”, por fortuna, en 2017, el país retoma la agenda y formula el Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la Cuenca, con su Plan de Manejo y de Aprovechamiento PMA, y el respectivo Órgano Colegiado de Administración y Decisión -OCAD- del Río Magdalena y Canal del Dique. Lo anterior, obliga a reconocerle a Cormagdalena que desde 1999, venía formulando el Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la Cuenca del Río Grande de la Magdalena -POMIM-, en fases progresivas, como instrumento para formular objetivos de coordinación y armonización, y para establecer lineamientos de política y estrategias para la formulación del Plan de Ordenamiento. ¿Por qué no aprovechar a fondo el POMIM, que contemplaba un elemento de ordenamiento hidrológico y otro de coordinación con las CAR y MASD como instituciones encargadas de la gestión medioambiental, para enfrentar la deforestación como causa de la sedimentación?

Frente a la pregunta: y el Plan Maestro de Transporte Intermodal de Colombia, 2015-2035 ¿qué? En lugar de poner a competir ferrocarril y río a lo largo del Magdalena, además de integrar mediante el tren a Buenaventura con Urabá, debió extender la hidrovía al Huila navegando el Salto de Honda, con enorme ventaja para el sistema portuario en La Dorada y sobre todo para Barranquilla. La hidrovía con una reducción de los costos superior al 40% y movilizand o en el Magdalena Centro seis millones de toneladas en un horizonte moderado –con el río operando al 100 por ciento del tiempo- podría generar más de cien mil empleos para Colombia.

El objeto de la recuperación del Magdalena, remontando el Salto de Honda y extendiendo la hidrovía hasta Neiva, además de hacer que los poblados ribereños vuelvan a ser puertos o asentamiento de pescadores, debe prevenir la sobreexplotación de la pesca y la madera, y que se arras en humedales para extender cultivos y hatos ganaderos, si queremos hacer de las comunidades y ecosistemas del territorio el principal objetivo del desarrollo, y convertir el río en una hidrovía incluyente y ecológicamente funcional y sostenible.

Colombia debe conectar mediante el tren las cuencas del Cauca y Magdalena, y buscar la consolidación de un corredor logístico que partiendo del Orinoco y pasando por el Altiplano y La Dorada, a través de viaductos y túneles para una línea férrea por la variante Loboguerrero, llegue al Pacífico Colombiano. Si hemos propuesto expandir la hidrovía del Magdalena y el corredor del Cauca integrando a Urabá con Buenaventura, también deberíamos conectar por tren ambos escenarios, para poder acceder desde el Altiplano nuestros mares. La locomotora del carbón andino exportado, es la clave no sólo para garantizar la carga sino y sobre todo para financiar la expansión ferroviaria aquí propuesta.

Epílogo

Si además de los vertimientos de aguas domésticas e industriales no tratadas y de la contaminación agrícola, como factores que arrasan la biodiversidad, también son notorias la pérdida de zonas boscosas de las rondas del río en el bajo Cauca y en especial en el Magdalena, facilitando la erosión de orillas en el cauce, y de bosques en las vertientes alterando la regulación hídrica y pluviométrica, por qué no preguntar: ¿qué acciones planificadas e integrales existen y cuáles son los indicadores que las soportan, para prevenir el grave impacto generado?

Lo anterior explicado por la expansión de la frontera agrícola y ganadera, sumado a la actividad minera, como prácticas que favorecen los movimientos en masa y la erosión, al igual que las obras de infraestructura para proyectos hidroenergéticos que han dañado de forma severa la conectividad biológica -caso Hidroituango-, son factores que sumados a algunas intervenciones fluviales y carreteras, explican la alta tasa de sedimentos y la reducción de la eficiencia hídrica y biológica de los complejos de humedales, causando con ello la desgracia para 50 mil pescadores.



Imagen Biomas del Caribe asociados al Sinú-Magdalena, IGAC (2014)., y Mapas de Atlántico y Magdalena en el entorno Calamar-Barranquilla (CCG)

Si bien se requiere un plan de dragado compartido y conocido por los actores, se debe hacer un seguimiento técnico para valorar resultados a la luz de los objetivos del dragado y la gestión del contratista. Igualmente, la autoridad ambiental debe proceder de forma similar para prevenir los impactos y dinámicas de la agricultura y la ganadería, no sólo previniendo la contaminación asociada a insumos del sector, sino también la expansión de hatos y cultivos modificando de forma directa o indirecta la dinámica fluvial, ya con la destrucción del bosque, ya con el cierre de caños y el secado de humedales.

Una declaratoria que priorice al río Magdalena como uno de los escenarios más representativos en la historia del país, debería partir del concepto del territorio como sujeto de derechos. Si su cuenca es el hábitat donde se dan nuestras relaciones con el medio andino tropical, también el río, pese a haber sido fundamental como ruta de acceso para la ocupación del territorio, y como medio para la consolidación de la nación durante el siglo XIX, hoy víctima del olvido se encuentra degradado y contaminado.

Amparar sus derechos ambientales, es darles primacía a sus 50 mil pescadores, y a los humedales y bosques secos que lo circundan, no sólo para ponerle límites a las intervenciones que buscan alterar su vaguada y los humedales como ecosistemas vitales, sino también para ordenar el cumplimiento de las acciones que demanda su recuperación integral. Un territorio es una construcción social e histórica y no un simple espacio de transformaciones. En él va surgiendo la cultura como fruto de las relaciones dialécticas de simbiosis y parasitismo, entre dos sistemas complejos: el social y el natural.

Siendo el Magdalena nuestra principal arteria fluvial y el más emblemático río del país, dada su complejidad ecológica, habrá que tomar las previsiones en cada zona: en el ecosistema costero, el impacto de la turbidez sobre los corales, mitigando el efecto de aguas turbias con el nuevo canal del Dique; en la cuenca baja el perjuicio de desligar el canal navegable de los complejos de ciénagas, cerrando caños para el desarrollo de obras y expansión de cultivos y hatos; en el Magdalena Centro y Medio la importancia de un dragado como obra pública para prevenir el sistema de peajes; y en la cuenca alta, propiciar la extensión de la hidrovía para incorporar el Tolima Grande a los beneficios de la navegación. Súmese a lo anterior, el control de la contaminación y de la deforestación en todas sus formas.

Ref: Documento preparado para la Audiencia Ambiental Caribe, programada para el Viernes 11 de enero de 2020 en Barranquilla, por la Procuraduría General de la Nación, con Cormagdalena y los Gobernadores de Atlántico, Bolívar y Magdalena

CAPÍTULO 6

PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS.

6.1 Capilaridad y tensión superficial

6.1.1 Tensión superficial.

Es la propiedad de un líquido en la interface "líquido – gas", por la cual las moléculas de la superficie soportan fuerzas de tensión. Por ella, una masa de agua, acomodándose al área mínima forma gotas esféricas. La tensión superficial explica, el rebote de una piedra lanzada al agua. La tensión superficial se expresa con T y se define como la fuerza en Newtons por milímetro de longitud de superficie, que el agua es capaz de soportar.

El valor de la tensión es de $73 \text{ dinas/cm} \approx 0,074 \text{ gf/cm}$ siendo gf, gramos-fuerza. Este coeficiente se mide en unidades de trabajo (W) o energía entre unidades de área A y representa la fuerza por unidad de longitud en cualquier línea sobre la superficie. T es entonces, el trabajo W necesario para aumentar el área A de una superficie líquida.

6.2 Capilaridad.

Fenómeno debido a la tensión superficial, en virtud del cual un líquido asciende por tubos de pequeño diámetro o por entre láminas muy próximas. Pero no siempre ocurre así debido a que la atracción entre moléculas iguales (cohesión) y moléculas diferentes (adhesión) son fuerzas que dependen de las sustancias (Figura 6.1). Así, el menisco será cóncavo, plano o convexo dependiendo de la acción combinada de las fuerzas de adherencia (A) y de cohesión (C), que definen el ángulo α de contacto en la vecindad, y de la gravedad.

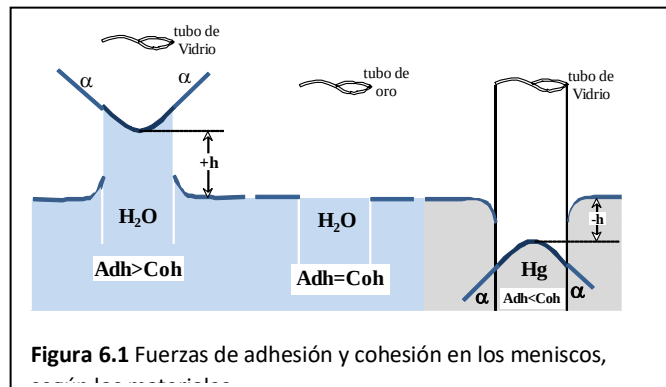
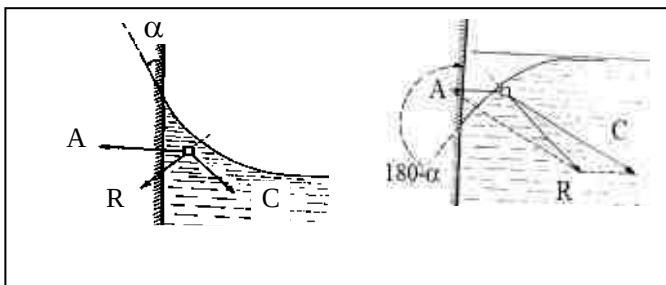


Figura 6.1 Fuerzas de adhesión y cohesión en los meniscos,



NOTA: El tamaño de los poros del suelo es $\phi/5$, en suelos granulares.

Sean: h_c = altura capilar de ascenso del agua, en un tubo de radio estrecho R , parcialmente sumergido. α es el ángulo que forma del menisco con el tubo capilar. T = tensión superficial dentro del tubo capilar. El agua asciende en contra de la presión U_w , a la que se suma la presión atmosférica sobre toda la superficie del fluido. P_a = presión atmosférica (el aire pesa), que se compensa.

Haciendo suma de fuerzas verticales.

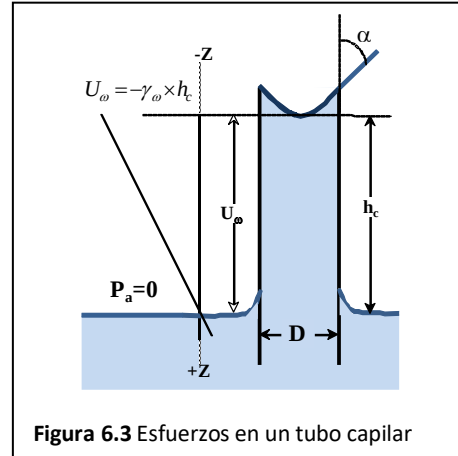
$$\Sigma F_V = 0; \text{ para } P_a = 0$$

$$2\pi R * T \cos \alpha + U_w * \pi R^2 = 0 = \Sigma F_V;$$

Despejando U_w

$$U_w = \frac{-2T \cos \alpha}{R} = \frac{-4T \cos \alpha}{D} \quad (6.2)$$

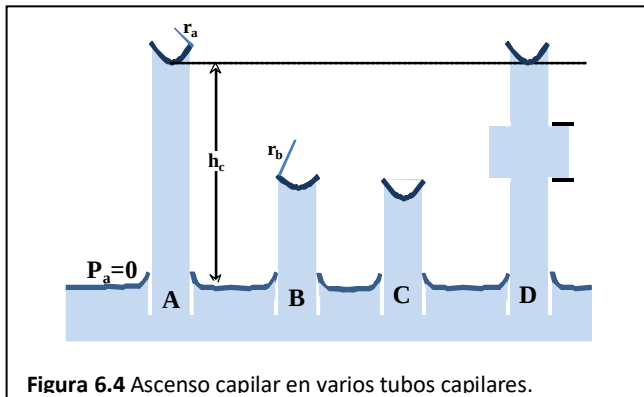
$$\text{Pero } U_w = -h_c \gamma_w$$



$$h_c = \frac{4T \cos \alpha}{\gamma_w D}$$

$$h_c = \frac{0,03 \text{ (m)}}{D \text{ (mm)}} \quad (6.3) \Rightarrow \begin{cases} \text{Como en agua} \\ \gamma_w = 1, \text{ grf/cm}^3 \\ \text{y en aire y agua} \\ T = 0,074 \text{ grf/cm} \\ \text{si la temperatura es } 20^\circ \end{cases}$$

Para $D = 0,1 \text{ mm}$, h_c vale $0,3 \text{ m}$. Si $\alpha = 0^\circ$, el radio del menisco es el mismo del tubo. Llamemos " r " al radio del menisco.



A = Tubo de referencia con r_a

B = Tubo corto. $r_b > r_a$; ($U_A > U_B$)

C = El agua no puede ascender por el ensanchamiento del tubo.

D = Tubo llenado por arriba.

El ascenso capilar en los suelos finos es alto.

En arenas finas ($T_{40} - T_{200}$), si es suelta $h_c = 0,3\text{m} - 2,0\text{ m}$, si es densa $h_c = 0,4\text{m} - 3,5\text{m}$.

En arcillas ($\phi < T_{200}$), $h_c \geq 10\text{m}$ ($\therefore \gamma_w \cdot h_c = U_w \approx 1 \text{ at } \approx 1 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$)

6.1.2 Capilaridad y contracción en suelos arcillosos

Dos fuerzas: **Adsorción** entre las partículas activas del suelo y el agua y las fuerzas **osmóticas**, propias de la fase líquida y explicada por el potencial del agua debido a la presencia de solutos en solución que pueden ser especies inorgánicas o componentes orgánicos, explican la capilaridad de las arcillas. En la adsorción influyen la **adherencia** y la **tensión superficial**.

El movimiento, la retención o la pérdida de agua en el suelo están controlados por gradientes energéticos, gracias a la presencia de las energías potencial, cinética y eléctrica. El potencial del agua pura es cero y el del agua en el suelo es negativo. El gradiente energético determina la dirección y la velocidad del movimiento del agua en el suelo.

Potencial de humedad o succión (p_F): Es la máxima tensión (H en cm) que ejerce el esqueleto mineral del suelo sobre el agua de los poros. Como la resistencia a la tensión del agua es 2000 MN/m^2 , el valor de $p_{F\text{max}} = 7$ (equivale a $H = 1000 \text{ Km} = 10^7 \text{ cm}$).

Cuando existe diferencia en el potencial de humedad (p_F), se produce flujo de agua aunque no exista cabeza hidráulica. El agua así, pasará de regiones de bajo potencial de humedad (p_F) hacia las de alto p_F . Cuando ambas igualen el p_F , el flujo continuará hasta que se igualen las diferencias de altura.

6.1.3 La contracción y expansión en las arcillas: en los suelos arcillosos pueden ver alterados su volumen y su parámetro de cohesión así: consideremos un tubo horizontal.

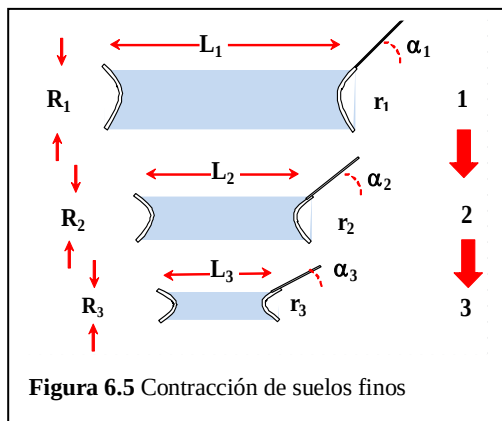


Figura 6.5 Contracción de suelos finos

r_i = Radio del menisco (variable).

R_i = Radio del tubo elástico (variable).

L_i = Longitud del tubo con agua (variable).

α_i = Ángulo del menisco con el tubo (variable).

Cuando el tubo elástico pierde agua, pierde longitud; $L_1 > L_2 > L_3$ en consecuencia pierde diámetro, $R_1 > R_2 > R_3$; de esta manera $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$, lo que significa que el menisco tiende a desarrollarse mejor y el ángulo α tiende a cero ($\alpha \rightarrow 0^\circ$) en virtud de la pérdida de agua.



Figura 6.6 Talud de corte vial conformado por suelo arcilloso que alcanzó humedades por debajo de la deshidratación y del límite de contracción. El talud es inestable porque se formaron estructuras del suelo por la contracción y se desestabiliza por erosión eólica e hídrica; el talud no es una estructura funcional para la vía por ser inestable y por la pérdida de plasticidad del suelo. (Carlos E.

máximo.

Esto significa que aumentan los esfuerzos efectivos del suelo al perderse agua (por evaporación o viento), pues α tiende a 0° . El suelo se contrae y se agrieta.

La figura 6.6 presenta un talud vial escarpado, conformado por un suelo arcilloso bien drenado, con escasa posibilidad del acceso de agua lluvia o de escorrentía. El suelo está sometido a secado intenso por el sol y el viento de la zona y por el paso de vehículos; la humedad del suelo está por debajo del límite de contracción, este se agrieta, pierde su plasticidad y es inestable. El suelo no dispone de los recursos suficientes para la supervivencia de la vegetación protectora.

Ejercicio 6.1

Calcular la tensión capilar máxima, en gr/cm^2 en un tubo si el menisco tiene $\phi = 5\mu$. Calcular h_c , ascenso capilar

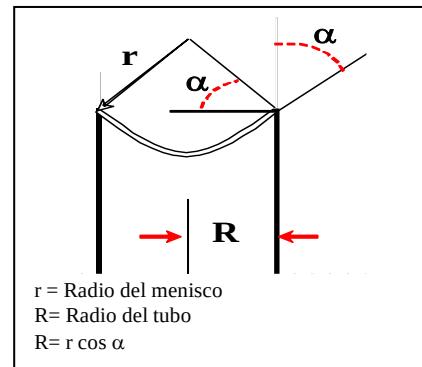
Solución: Aplicando las expresiones 6.2 y 6.3, se tiene:

El esfuerzo de tensión U_w en cualquier punto de la columna, que es la tensión U_w en el líquido inmediatamente abajo del menisco, es:

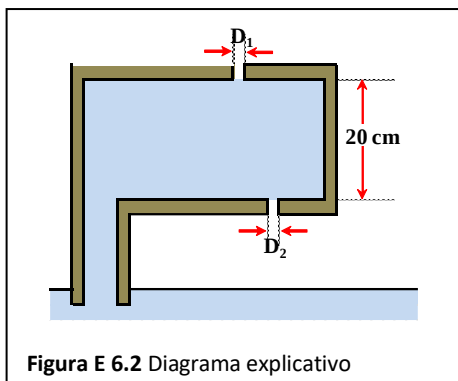
$$U_w = -h_c \gamma_w = \frac{-4T \cos \alpha}{D} = \frac{-2T \cos \alpha}{R} = \frac{-2T}{r}$$

$$U_w = \frac{2 * 0,074 \frac{\text{gr}}{\text{cm}}}{0,00025 \text{cm}} = 592 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2}$$

$$h_c = \frac{U}{\gamma_w} = 592 \text{cm} = 5,92 \text{m}$$



Ejercicio 6.2.



Se muestra un recipiente de vidrio con agua y dos orificios así: El superior con diámetro $D_1 = 0,001 \text{ mm}$ y con menisco bien desarrollado, el inferior con diámetro D_2 .

Calcule el máximo valor de D_2 cuando el menisco superior está bien desarrollado.

Solución: Con las expresiones del ejercicio anterior, se puede escribir

$$U_{W1} = \frac{-4T}{D_1} = \frac{-4 * 0,074 \frac{gr}{cm}}{0,01cm} = \frac{-0,3 \frac{gr}{cm}}{0,01 \frac{cm^2}{cm^2}} = -30 \frac{gr}{cm^2} \quad (*) \begin{cases} \alpha_1 = 0 \\ R_1 = r_1 \end{cases}$$

$$U_{W2} = \frac{-4T}{D_2} = \frac{-0,3 \frac{gr}{cm}}{D_2} \quad \text{Pero el punto 2 está 20 cm abajo :}$$

Si se planea el equilibrio del sistema. Como las tensiones son negativas, tensión 1 < tensión 2:

$$-U_{W1} + U_{W2} = h\gamma_w \quad \therefore$$

$$30 \frac{gr}{cm^2} - \frac{0,30 \frac{gr}{cm}}{D_2} = 20cm * \gamma_w \quad y \quad \gamma_w = 1 \frac{gr}{cm^3}$$

$$D_2 = 0,03cm$$

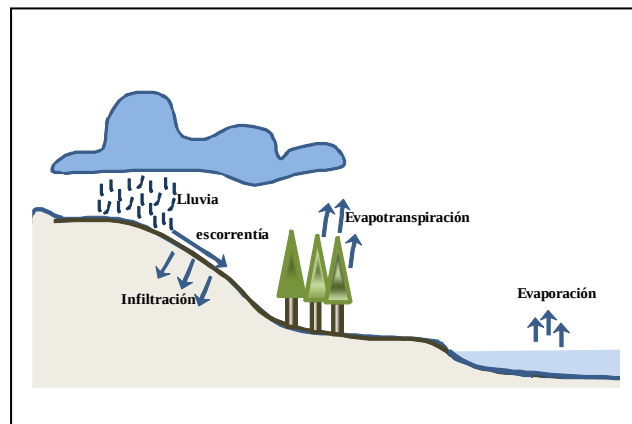
6.2 El agua en el suelo.

• 6.2.1 Ciclo hidrológico

La ecuación del ciclo hidrológico es una igualdad entre el agua lluvia que llega al suelo y la que circula y por lo tanto se pierde:

$$PRE + COND = INF + ESC + EVP + TRA$$

El sol provee la energía al sistema, y con la gravedad, determina su funcionamiento dinámico.



Cuando el agua se precipita al terreno (PRE), sigue tres caminos: Escorrentía (ESC), infiltración (INF) y evapotranspiración (evaporación (EVP) + transpiración (TRA)). No obstante, para el caso del trópico y los paisajes kársticos, la condensación (COND) en los bosques de niela y cavernas resulta fundamental para establecer y comprender el balance hídrico, donde las variables normalmente medibles de forma directa son la precipitación y la escorrentía.

Es difícil evaluar la evapotranspiración y la infiltración, pero la escorrentía, que es la fracción arroyada o de desagüe, puede aforarse en una "cuenca vertiente", observando caudales por largos períodos.

La masa de agua evacuada por escorrentía y la precipitación, permiten establecer dos parámetros Coeficiente de Circulación Aparente (CAP) y $[ESC - PRE]$, dados por:

$$\frac{ESC}{PRE} = CAP; [ESC - PRE] = INF + EVAPOTRAN$$

Interesa en geotecnia particularmente la infiltración que depende de las condiciones de precipitación: las lluvias finas y prolongadas se infiltran a mayor profundidad que las torrenciales; de la naturaleza

del terreno: en suelos arenosos se infiltran grandes volúmenes de agua, en una red kárstica la infiltración será total y la circulación interna muy localizada. La cobertura vegetal protege el suelo, incrementa los tiempos de concentración, conserva la plasticidad y la humedad de los suelos, favorece la evapotranspiración y contribuye a la infiltración. Las pendientes bajas de las laderas incrementan la infiltración, así como las áreas donde la pendiente de la ladera se reduce.



Figura 6.7 Deslizamiento por lluvias acumuladas. Las aguas se infiltran a profundidades mayores y activan movimientos en masa que involucran volúmenes grandes de suelo. (Carlos E. Escobar P.)



Figura 6.8. Deslizamientos con planos de falla superficiales. Estos movimientos en masa fueron activados por una lluvia torrencial de 140 mm en 4 horas. (Carlos E. Escobar P.)

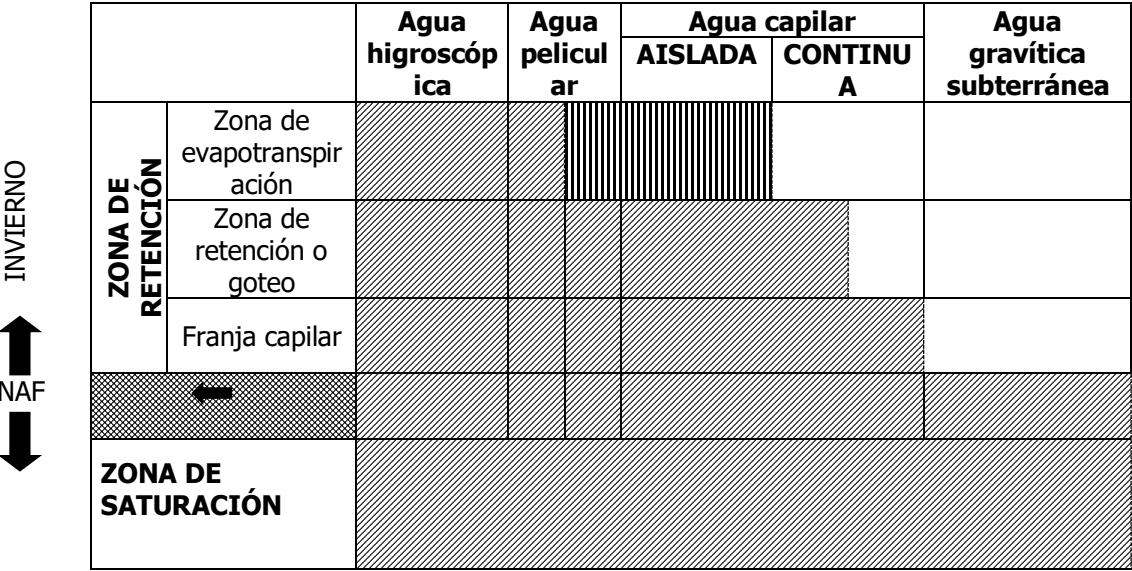
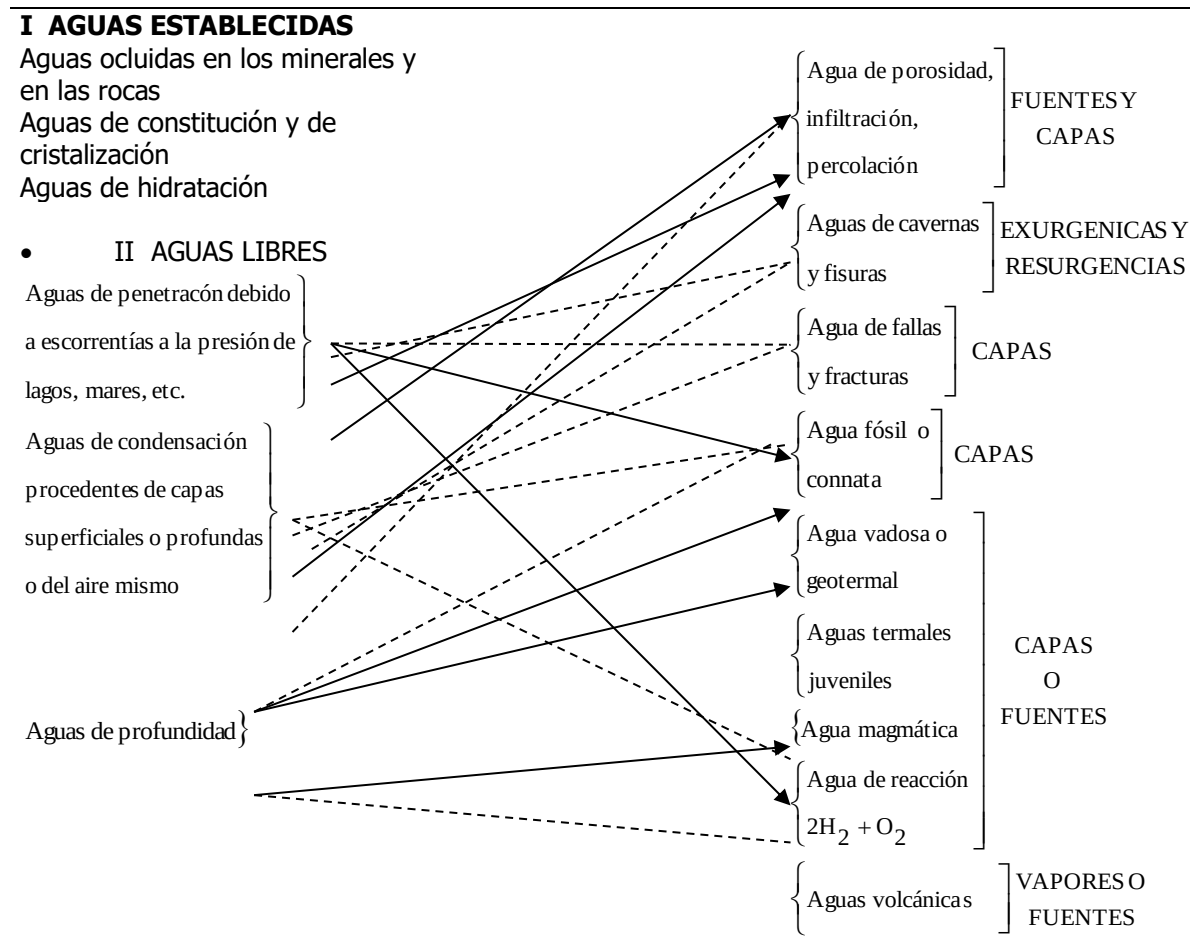


Figura 6.9 Tipos de aguas en el subsuelo (Castany).**Tabla 6.1** Origen de las aguas subterráneas. Félix Trombe.

6.2.2 Macizos térreos con agua subterránea³

Acuífugos, hidrófugos: masa impermeable de suelo o roca que al no tener conductos interconectados, no pueden almacenar ni conducir agua.

Acuicludo: masa de roca o suelo relativamente impermeable que puede absorber agua lentamente pero que no permite su flujo con la velocidad suficiente para abastecer pozos o manantiales.

³ Hoyos P. F., GEOTECNIA, Diccionario básico. Universidad Nacional de Colombia. Hombre Nuevo Editores

Acuitardo: capa o estrato confinante que retarda pero no impide completamente el flujo de agua hacia o desde un acuífero vecino. Un acuitardo no entrega rápidamente agua a los pozos o manantiales, pero puede servir como una unidad de almacenamiento del agua subterránea.

Acuífero: masa de roca o suelo suficientemente permeable para permitir el flujo de agua y su extracción económica por medio de pozos o su descarga en manantiales y ríos.

Acuífero confinado: acuífero limitado por capas impermeables o por capas que tienen una permeabilidad substancialmente menor que la del acuífero mismo. En los acuíferos confinados el nivel piezométrico se encuentra por encima del techo del acuífero. Los acuíferos confinados son la causa de muchos procesos de inestabilidad de suelos, cuando los estratos de roca fracturada son confinados por el macizo rocoso sano y el suelo residual. En las excavaciones de proyectos de ingeniería se intervienen áreas que al ser niveladas se convierten en zonas de recarga de aguas y con ello la saturación y las presiones piezométricas sobre las unidades de suelo y roca más superficiales.

Acuífero libre: Acuífero en el que la formación permeable aflora en superficie. En los acuíferos libres el nivel piezométrico coincide con el nivel freático.

Acuífero colgado: aquel que contiene agua libre por encima del cuerpo principal de agua subterránea y que está separado de ésta por un estrato poco permeable y por una zona no saturada.

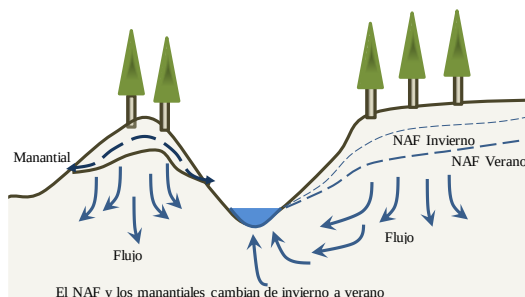
6.2.3 Clases de flujo

Flujo permanente: Flujo perenne o continuo, ocurre cuando las condiciones de borde se conservan en el tiempo. La dirección de las líneas de flujo es idéntica y la velocidad es constante. Es propia de los suelos homogéneos.

Flujo transciente: ocurre cuando las condiciones de borde cambian en el tiempo y por lo tanto, la velocidad y dirección también, aunque no siempre el caudal lo haga. Común en suelos heterogéneos como los conglomerados. En estos flujos son comunes las presiones piezométricas que contribuyen en mucho a la inestabilidad del talud o la ladera.

6.2.4 Agua subterránea

A más de 16 Km de profundidad no existe agua subterránea, ya que las rocas fluyen plásticamente y los poros están cerrados, como también las fracturas o fallas geológicas. A sólo 6 Km el agua es poca, aunque las rocas ya son rígidas, porque los espacios están cerrados e impiden la interacción para establecer el flujo. Sólo a unos 600 m el agua puede ser susceptible de recuperarse con pozos.



El NAF: es el lugar geométrico de los niveles que alcanza la zona saturada del suelo, y no siempre coincide con el nivel piezométrico NAP (el que alcanza el agua en un pozo de observación). Sólo coinciden cuando el NAF está a presión atmosférica.

Figura 6.10a Esquema de los flujos subterráneos.



ABC = Zona de aireación (INFILTRACIÓN).

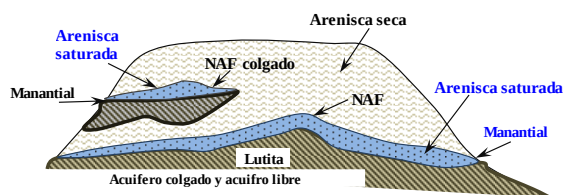
D = Zona de saturación (PERCOLACIÓN).

A = Faja de EVAPOTRANSPIRACIÓN.

B = Faja de agua colgada o de goteo.

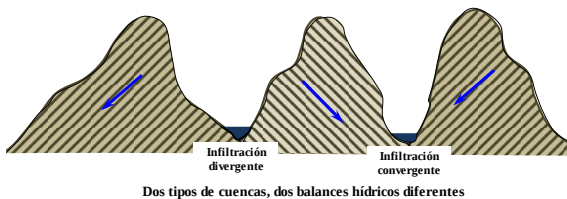
C = Zona capilar (sobre el NAF)

Figura 6.10b Zonas de humedad



Un acuífero puede estar colgado o no; en este primer caso, se tendría un par de NAF: el colgado y el NAF general. Los acuíferos pueden ser libres o confinados.

Figura 6.10c Niveles freáticos y los estratos impermeables



La cuenca hidrológica y la cuenca hidrogeológica pueden ser diferentes. Esto debido al buzamiento de la roca

Figura 6.10d Cuenca hidrogeológica

Figura 6.10 Presencia de agua subterránea

6.2.5 Estado del agua subterránea.

Son cinco los estados del agua subterránea:

- Agua de constitución (químicamente y físicamente enlazada)
- Agua sólida.
- Agua capilar (angular, suspendida y elevada).
- Agua gravitacional
- Vapor de agua.

1. Agua de constitución: Puede ser químicamente enlazada y se subdivide en:

Agua de constitución molecular que se puede remover a altas temperaturas por estar ligada iónicamente a la estructura molecular.

Agua cristalina si hace parte de la red mineralógica.

Agua zeolítica, que es una variedad menos ligada a los minerales.

La otra forma, físicamente enlazada comprende dos clases: agua **adsorbida**, o higroscópica, y **agua pelicular**, ambas en equilibrio electroiónico, pero la primera adherida a la superficie de los minerales y la segunda en capas más externas, que ordenadamente se establecen o se desprenden.

2. Agua en estado sólido: hielos producto del congelamiento perenne (como en la Antártida) o semipermanente (caso de Siberia).

3. Agua capilar: (figuras 6.9 y 6.10b) Puede ser angular, si se cuelga en los vacíos y no se mueve por gravedad, en virtud a la tensión superficial. También la capilar suspendida, que no se comunica con el NAF y que se mueve o varía por influencia de la evaporación y la lluvia. Finalmente, el agua capilar elevada, o de la zona capilar, de gran importancia en Mecánica de Suelos, y que está sobre el nivel de agua freático (NAF).

4. Agua gravitacional: es el agua subterránea propiamente dicha, que ocupa la zona de saturación y alimenta pozos y manantiales.

5. Vapor de agua: existe en el aire y su movimiento responde a gradientes térmicos. Interesa en suelos parcialmente saturados cuando son hinchables. También se considera vapor de agua en cavernas y en la zona de disecación, y donde actúa la evaporación o la difusión.

6.2.6 Propiedades del agua

Densidad (ρ) se define como la masa sobre el volumen y depende de la temperatura. Peso unitario (γ_w) es el producto de la densidad por la gravedad ($\rho \cdot g$). Viscosidad dinámica (n): $n = \tau_{xy} = \text{Kg/m seg}$ y es función de la temperatura.

Temperatura °C	0	10	20
n	$1.79 \cdot 10^{-3}$	$1.31 \cdot 10^{-3}$	$1.01 \cdot 10^{-3}$

Viscosidad cinemática (u): $u = n/\rho \approx 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$ y es función de la temperatura.

Compresibilidad del fluido (β): Es la variación de la densidad con la presión.

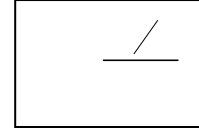
$$\beta = \frac{d\rho}{dP} \approx 0,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{N} \quad \text{Si es con relación al volumen } V : \quad \beta = \frac{\left(\frac{dV}{V}\right)}{dP}$$

• 6.2.7 Propiedades del suelo

Porosidad (η). Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la muestra (V_v/V_T), que en suelos arenosos es $0,35 < \eta < 0,45$ y en turbas o arcillas $0,40 < \eta < 0,85$

Porosidad efectiva (η_e). Se define por los poros efectivos para permitir el flujo, pues descuenta los poros no interconectados o muy cerrados. En arcillas $\eta_e \ll \eta$ y en arenas $\eta_e \approx \eta$

Coeficiente de compresibilidad unidimensional (α). Se define como el cambio unitario en altura (dh/h) con respecto a la variación del esfuerzo efectivo vertical ($d\sigma'_v$). Se mide en m^2/N .



En arenas $\alpha = 10^{-7} - 10^{-8} m^2/N$ y en arcillas es $10^{-6} - 10^{-7} m^2/N$.

Grado de saturación (S). Relaciona el volumen de agua con el de los vacíos del suelo (V_w/V_v), por lo que $0 \leq S \leq 1$, siendo $S = 0$ cuando $\gamma_T = \gamma_d$ y $S = 1$ cuando $\gamma_T = \gamma_{sat}$. Además, si A es el grado de saturación de aire, relación que depende de esta; $S + A = 1$, pues $A = V_a/V_v$ y $V_v = V_a + V_w$.

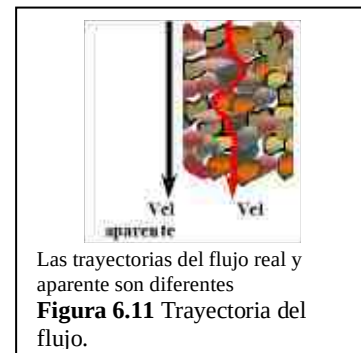
NOTA: las trayectorias del flujo real y aparente (son diferentes).

6.3 Principios fundamentales del movimiento de un fluido no compresible.

Existen tres principios en la física que son la conservación de la energía, la conservación del momento cinético y la conservación de la masa. En los fluidos existen los medios porosos, y un medio poroso consiste en espacios vacíos y continuos, que garantiza el flujo, es decir, es permeable.

Las suposiciones básicas serán:

- El medio está saturado.
- La masa de suelo es incompresible.
- Hay sólidos y fluidos incompresibles.
- Sólo puede variar el volumen de los poros.

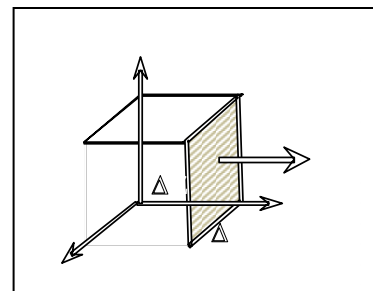


6.3.1 Ley conservación de la masa

si $V_X = \frac{q_X}{\Delta Y \Delta Z}$; V_X velocidad de descarga en la dirección X

si $v_X = \frac{V_X}{\eta}$; η porosidad, v_X velocidad de infiltración

$$\frac{\partial v_X}{\partial X} + \frac{\partial v_Y}{\partial Y} + \frac{\partial v_Z}{\partial Z} = -\frac{1}{V} * \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial e}{1 + e_0}$$



Que es la llamada **ecuación de continuidad** y puede escribirse con una pequeña variación en función de e_0 , la relación de vacíos.

Si $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$, flujo permanente; si $\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$ flujo transiente

• 6.3.2 Ley conservación de la energía

Al aplicar las ecuaciones de EULER a los líquidos sometidos a la gravedad, y en movimiento permanente, se obtienen la ecuación de BERNOULLI

$$\Phi = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \text{Cabeza total } \Phi, \text{ suma de cabezas de altura } Z, \text{ de presión } P/\gamma \text{ y de velocidad } V^2/2g.$$

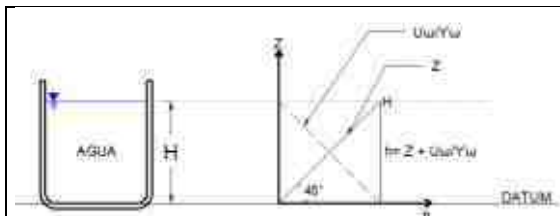
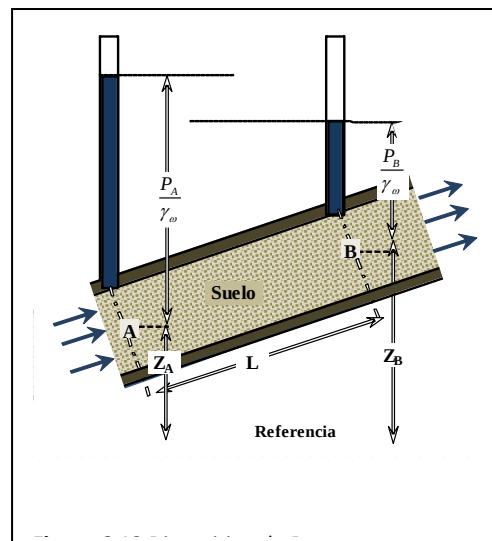
En suelos con velocidad de infiltración alta, $h_v = V^2/2g < 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$, por lo que esta cabeza se desprecia y ayuda sólo la cabeza piezométrica H :

$$H = h_p + h_z = P/\gamma + Z \Rightarrow \text{cabeza piezométrica } H$$

6.3.3 Ley de conservación del momento

La Ley de Darcy (1856), es empírica y permite determinar la velocidad de infiltración v cuando existe flujo a través de un material de porosidad constante K y cuando existe un gradiente piezométrico $i = H/L$ (ver figura 6.12).

La permeabilidad (K) del material depende de la forma de las partículas o intersticios, de la tortuosidad y del tamaño de los conductos, de la relación de vacíos e , de la viscosidad del fluido y de la temperatura (que afecta la viscosidad), entre otros.



TANQUE DE AGUA (I)

Como en el tanque no se presenta flujo, la cabeza total es $h = \text{cte.}$, es decir

$$Z = U_w/\gamma_w$$

Figura 6.13 a

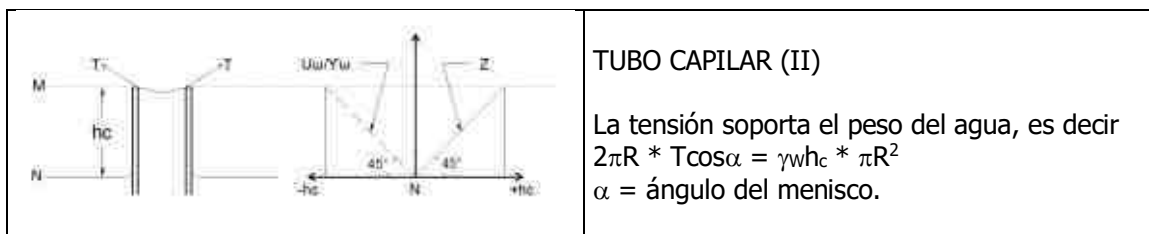


Figura 6.13 b

Si denominamos

- CE = cabeza de elevación
- - - - CP = cabeza de presión
- CT = cabeza total

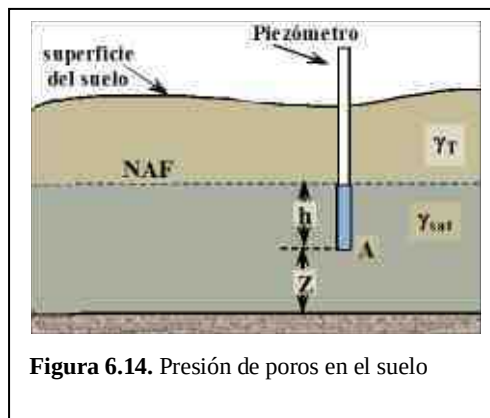
	PTO	CE	CP	CT	
I {	A	0	H	H	No hay flujo
	B	H	0	H	
II {	M	h_c	$-h_c$	0	No hay flujo
	N	0	0	0	

• 6.4 Presión de poros "U" y potencial "P" en el suelo

Las leyes que gobiernan el flujo de agua son análogas a las del flujo eléctrico. Se requiere, en ambos casos, de un gradiente de potencial, que oriente las fuerzas del sistema.

La presión de poros $\Rightarrow$ es la presión intersticial, por debajo del NAF.

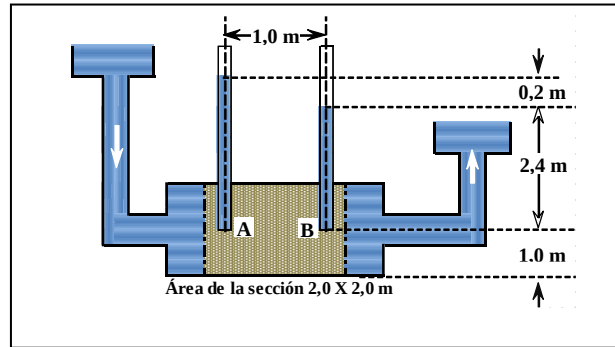
El potencial mide la energía del sistema (sección 6.3.3.)



Si existe gradiente en el campo, se presenta el flujo de agua según la Ley de DARCY.

Ejercicio 6.1.

Calcular la presión de poros (U) en los puntos A y B, el potencial P_A y P_B , y el gradiente hidráulico " i ", entre A y B, para el permeámetro horizontal de la figura, a partir de los niveles leídos en los piezómetros A y B.



$$U = \gamma_w h ; P = \frac{U_w}{\gamma_w} + Z ; i = \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

$$U_A = 9,81 * 2,6 = 25,5 \text{ KN/m}^2$$

$$U_B = 9,81 * 2,4 = 23,5 \text{ KN/m}^2$$

$$P_A = \left(\frac{25,5}{9,81} \right) + 1 = 3,6 \text{ m}$$

$$P_B = \left(\frac{23,5}{9,81} \right) + 1 = 3,4 \text{ m}$$

$$\Delta P = P_B - P_A = -0,2 \text{ m} \Rightarrow \text{El agua fluye de A hacia B}$$

$$\Delta S = 1 \text{ m} \Rightarrow \text{Separación de los piezómetros}$$

$$i = \frac{0,2 \text{ m}}{1,0 \text{ m}} = 0,2 \Rightarrow \text{Gradiente hidráulico}$$

Ejercicio 6.2

Si en el caso anterior la permeabilidad es $K = 5 * 10^{-3} \text{ m/seg}$, obtenga el caudal " Q " (DARCY)

$$Q = K * i * A = 5 * 10^{-3} * 0,2 * (2 * 2) = 4 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sg} = 0,24 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

GRADO DE PERMEABILIDAD

Denominación	K en cm/seg
Muy alta	$< 10^{-2}$
Alta	$10^{-2} - 10^{-4}$
Moderada	$10^{-4} - 10^{-5}$
Baja	$10^{-5} - 10^{-7}$
Muy baja	$10^{-7} - 10^{-9}$
Impermeable	$> 10^{-9}$
Alberto J. Martínez Vargas, 1990	

PERMEABILIDAD DE SUELOS

K= cm/s	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Muy Bueno a bueno					Malo			Impermeable			
Capa sello	No apto							Poco apto		Apto		
Suelo	Grava y grava arenosa				Arena limosa			Limoso		Arcilloso		

Gabriel Márquez Cárdenas, 1987.

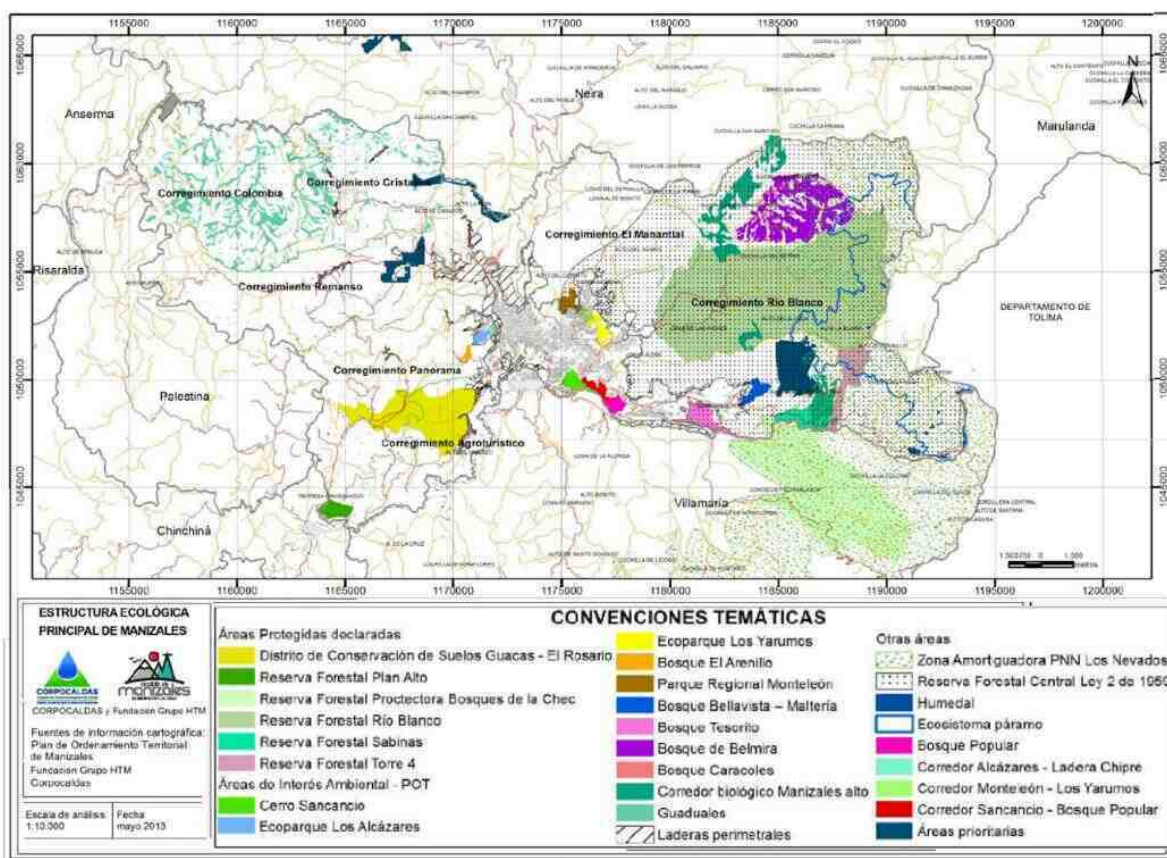
LECTURA 6: MANIZALES: UN DIÁLOGO CON SU TERRITORIO

Imagen 1: Estructura Ecológica Urbana de Manizales. Fundación Grupo HTM 2013.

Introducción

Esta presentación se elabora para el Foro del 5 de Marzo "GRACIAS POR VENIR MANIZALES", que lidera el Colectivo "Subámonos al bus del POT", como una actividad de la Sociedad Civil de la Ciudad, relacionada con el ordenamiento de su territorio, entre otras que se desarrollan con el soporte de la SMP Manizales.

- El territorio de Manizales, entendido como una construcción social e histórica, es el resultado de las relaciones dialécticas entre dos sistemas complejos: el de la sociedad del Gran Caldas cuyas raíces se forjaron durante el proceso de la colonización antioqueña y con el aporte del caucano que se remonta a La Colonia, y el del medio natural con las características del frágil ecosistema biodiverso regional, perteneciente al trópico andino, que se ha venido transformando desde mediados del siglo XIX.

- Las problemáticas y potencialidades socioambientales de la ciudad y de la región, emplazan a la sociedad civil a establecer un dialogo con el territorio a través de la cultura, para trazar las políticas públicas e identificar las acciones emblemáticas que prevengan su fragmentación y desestructuración, y que viabilicen acciones que permitan el desarrollo con sentido humano y responsabilidad ambiental.

El Territorio y la ecorregión

El territorio caldense, en una extensión de 7.888 km², consta de 27 municipios. Por sectores, la estructura del PIB de Caldas es: 17% Servicios, 17% Banca, Inmobiliario y afines, 14% Industria, 11% Agropecuario; 7% Construcción, 7% Transporte, 6% Electricidad; 5% Comercio y 16% Otros. Cuatro de “Los siete mundos de Samoga”, expresan el carácter de nuestra ecorregión: Pachamama(tierra) representa el occidente minero con Marmato y Riosucio; Bachué (agua), el recurso hídrico del occidente caldense, tierra de vapores y ranchos de hamacas; Yuruparí (aire), el aroma de la tierra del café por los dos ejes de la colonización antioqueña, y Chiminigagua (fuego), la alta cordillera con sus volcanes y fértiles tierras de Marulanda. Los otros tres mundos: Chía (arte) expresa la cultura de esta ecorregión triétnica; Bochica (lógica), la necesaria articulación entre ciencia y saberes; y Chibchakum (tecnología), nuestros desarrollos tecnológicos, como el bahareque, la caña panelera, las obras para el control de la erosión, las artesanías de Riosucio, Aguadas y Marulanda.

La Gente y la caldensidad

Manizales cuenta con 400 mil habitantes, de los cuales 373 mil son urbanos y 27 mil rurales. En Caldas, cuya población no llega al millón de habitantes, menos de 700 mil habitan en las cabeceras y 300 mil en el medio rural.

Al surgir en el siglo XX una caficultura de pequeña superficie y alto efecto redistributivo del ingreso, se acentúa y moldea el carácter definitivo del cafetero colombiano, al crearse una sociedad igualitaria, donde gravitan dos modos sociales diferentes de explotación minera: en la Colonia, con la minería de Quiebralomo y Marmato soportada en la esclavitud, y la de Antioquia soportada en el minero independiente.

Similarmente, ya en el siglo XIX son dos las formas de explotación agraria: una de servidumbre propia del Estado del Cauca y otra capitalista en la ruta e la colonización por el Estado del Sur de Antioquia, donde más adelante convergen el carácter emprendedor del antioqueño mostrado por Carlos E. Pinzón y la mente abierta del caucano de clase media, no afectada por los regímenes de esclavitud y servidumbre, de quien Francisco José de Caldas es digno representante.

La “aldea de bahareque”

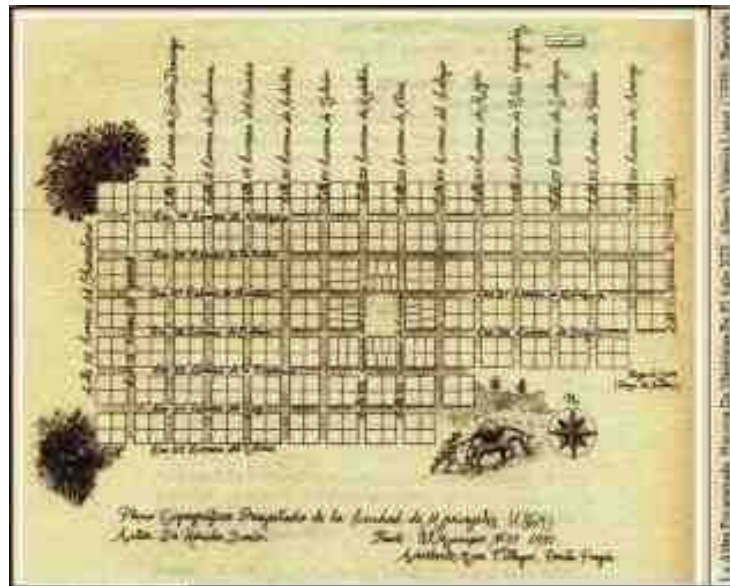


Imagen 2 – 3: Arriba: Manizales en 1864 por Rómulo Duran, en Revista Pregón N°57 de 1910. Abajo: Manizales de principios del siglo XX, mostrando su nuevo templo de bahareque de 1888. Centro de Historia de Manizales.

Desde su fundación (1849) hasta el ocaso de la Guerra de los Mil Días (1903), esta “aldea encaramada” de A. Valencia Llano, vive un período de guerras civiles (1860, 1876, 1880 y 1884), en el que su economía de subsistencia se soporta en la arriería de miles de bueyes y mulas, el modelo urbano mantiene la trama reticulada, y su arquitectura, inicialmente de tapia pisada, tras el pavoroso sismo de 1884, pasa a la del bahareque de tierra, configurado en guadua y arboloco y una mezcla de estiércol de equinos y limos inorgánicos.

“La aldea refundada”

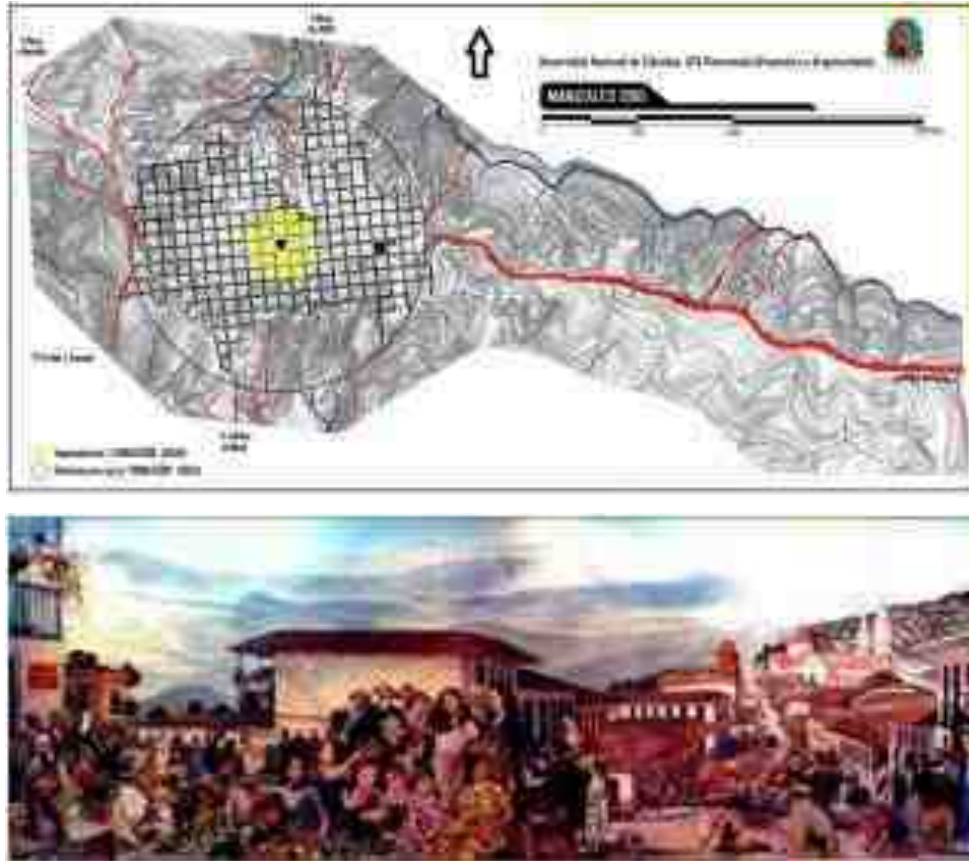


Imagen 4-5: Arriba. Manizales en 1916. En amarillo la aldea fundacional. Escuela de Arquitectura U.N. de Col. Abajo. Manizales 1920. Obra del Maestro Luis Guillermo Vallejo. Mural C. de Comercio.

En un segundo período (1903 a 1930), gracias al grano de oro la economía de la ciudad es de acumulación; son los tiempos de los vapores, los cables y los ferrocarriles cafeteros, en los que el meridiano económico de Colombia pasa por la ciudad.

Como consecuencia de los incendios de los años 20 que cobran 34 manzanas y la catedral de 1890, se emprende la obra más significativa del civismo caldense: La Catedral de Manizales, una estructura de 106 m de altura en ferro-concreto para una aldea de bahareque.

Con la refundación, el bahareque evoluciona en formas y contenidos conforme surge una arquitectura ecléctica de tipo republicano, mientras el nuevo modelo urbano ajustado al relieve, avanza a lo largo de la Avenida Cervantes, hoy Santander, con una trama urbana que, al seguir las curvas de nivel para resultar más conveniente, abandona la anterior retícula ortogonal de herencia europea.

Del desarrollo a la crisis

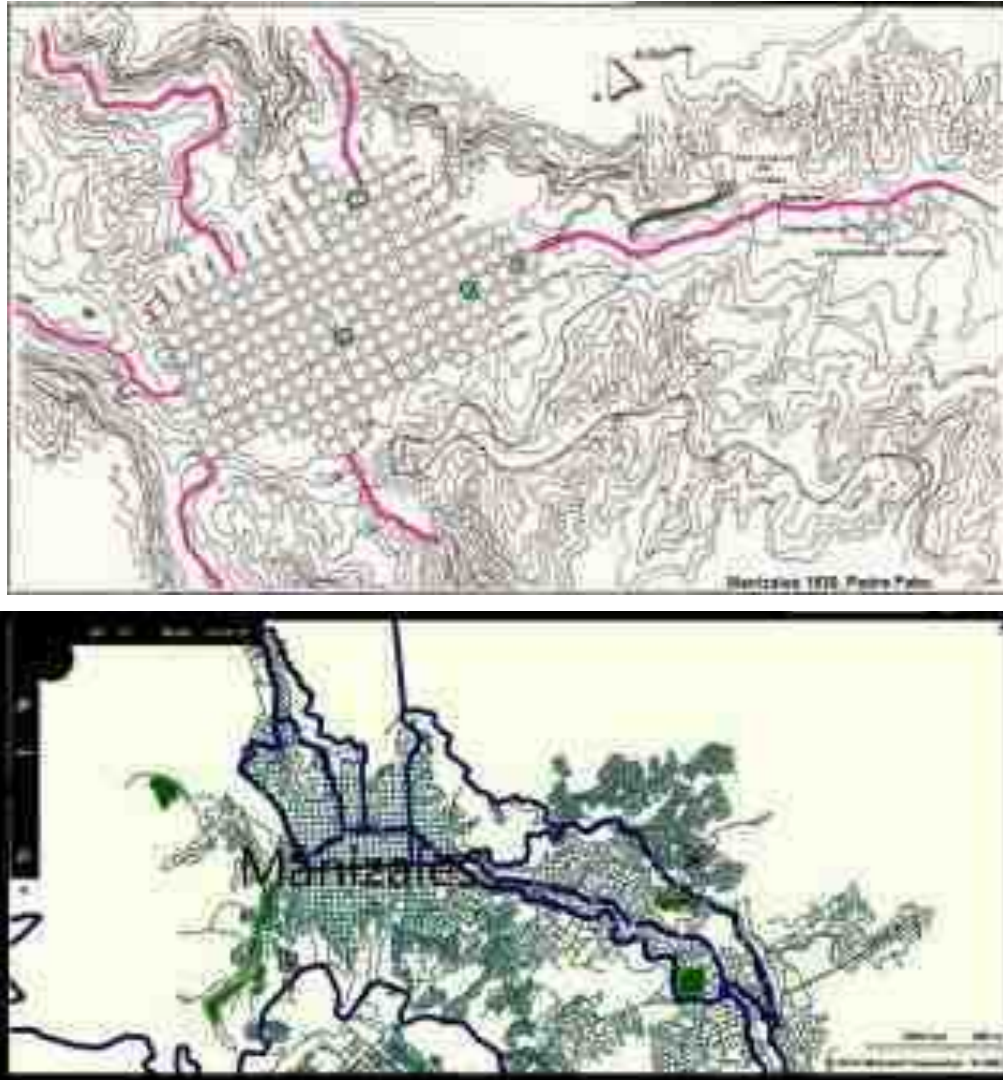


Imagen 6-7: Arriba: Manizales en 1930, cuando la ciudad empieza a tomar "forma de cometa", con el desarrollo urbano en los entornos de El Carretero. Padre Fabo. SMP de Manizales. Abajo: actual estructura "satelital" de Manizales, conformada por las ciudadelas que surgen a partir de los años 70.

El tercer período económico, de verdadero desarrollo, es el de "las chivas y jeppaos" que se corresponde con la irrigación de los beneficios de la caficultura. Con la creación de la Federación de Cafeteros (1927), mediante el soporte de los Comités se electrifica el campo, se abren las vías rurales y construyen escuelas y puestos de salud para dotar el medio rural. Pero en 1970, irrumpe la crisis socioeconómica y ambiental en la zona cafetera, como consecuencia de la Revolución Verde: con el monocultivo del caturra y de una caficultura basada en productos de base química, los campesinos que no pueden asimilar los paquetes tecnológicos y financieros de la caficultura moderna, en virtud de su precario nivel de escolaridad, emigran a la ciudad en busca de oportunidades que tampoco estarán a su alcance.

Perfil ambiental urbano

A continuación, una perspectiva ambiental en su contexto regional para Manizales, una ciudad intermedia emplazada sobre abanicos aluviales de la cuenca del río Chinchiná, epicentro de un territorio pluriétnico y biodiverso sobre el cual establece sus relaciones económicas y políticas.

A1- Medio ecosistémico natural.

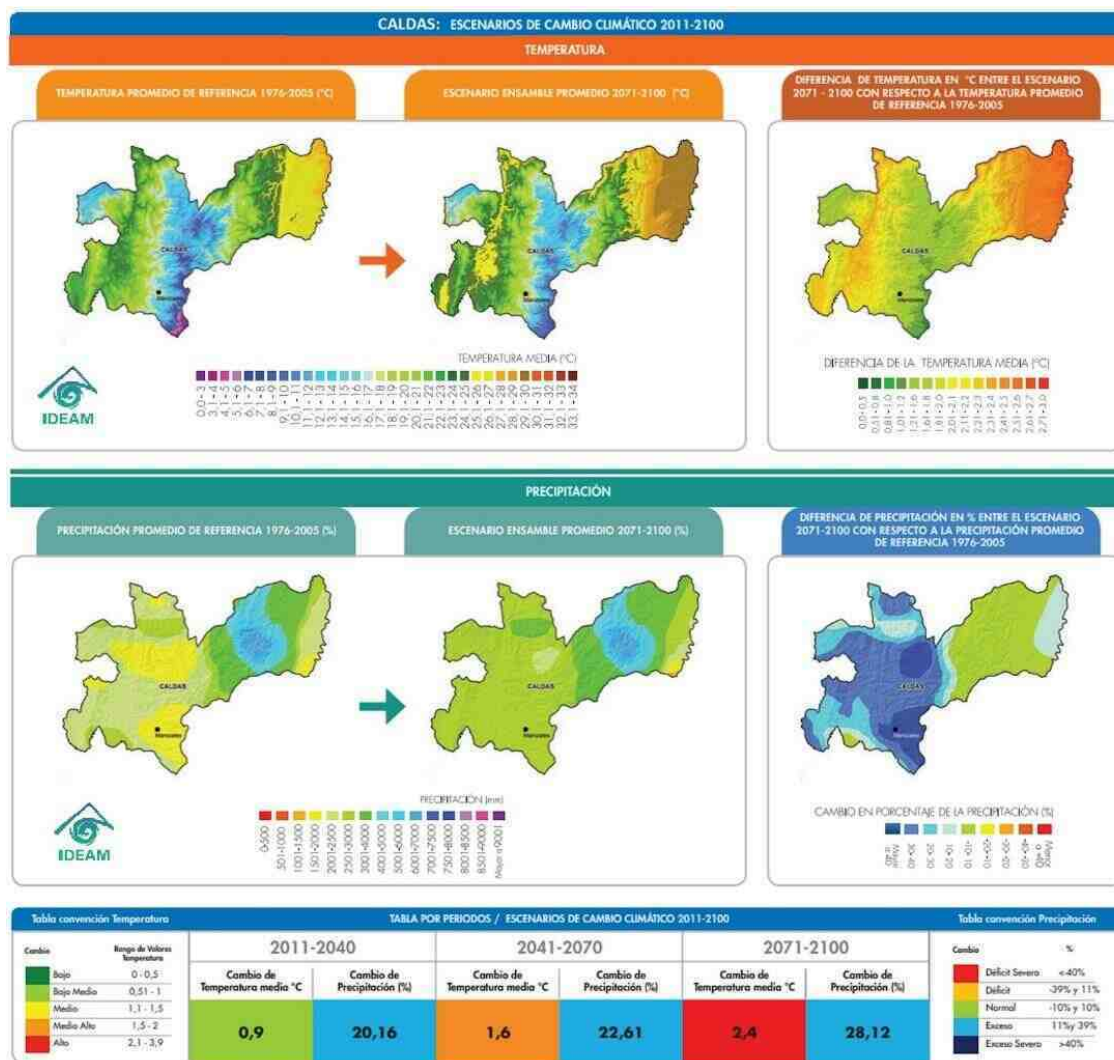


Imagen 8: Escenarios de cambio climático en Caldas, para el 2100: Temperatura y Precipitación, Ideam 2015.

Gracias a las dos cordilleras, nuestro clima es bimodal: cada año, dos temporadas invernales que inician con los equinoccios, cierran con dos veraniegas cuando llegan los solsticios.

Nuestro ecosistema biodiverso asociado al frágil medio tropical andino, se desarrolla en un medio montañoso de suelos jóvenes de origen volcánico, en un ambiente tectónico activo.

El complejo Ruiz-Tolima, las fallas de los sistemas Romeral, Palestina y Cauca-Patía, el Cañón del Cauca, el Valle del Magdalena, los ecosistemas de páramo y bosques alto-andinos vecinos a la Mesa de Herveo, y al Tatamá y Caramanta.

De las siete zonas agropecuarias de mayor productividad del país, cuatro benefician a la región: la zona cafetera, la alta Cordillera Central, el valle del Cauca y el valle del Magdalena.

En el inventario minero, de 210 explotaciones y yacimientos que posee el Gran Caldas, 120 pertenecen a Caldas y 60 al Quindío. Sobresalen: por el oro el alto Occidente; por el manganeso el Bajo Occidente; y por calizas, mármoles, uranio y un gran potencial hídrico, todo el Oriente Caldense.

A2- El medio transformado.



Imagen 9: Indígenas del Viejo Caldas. Luis Duque Gómez. Imagen en: <https://godues.wordpress.com/2013/03/31>

El proceso de ocupación y de transformación del medio natural, comienza con la presencia de comunidades amerindias organizadas en cacicazgos, distribuidos por toda la región: entre estas tenemos Irras, Cartamas, Pícaras, Ansermas, Concuyes, Pozos, Paucuras, Carrapas, Quimbayas, Palenques, Amaníes, Marquetones y Pantágoras.

Luego, tras la conquista, se establecen nuevos asentamientos como Anserma, Supía, Marmato, Cartago, Arma, Vitoria, Mariquita y Honda, en los que la minería, como la principal actividad de la Colonia, se da mediante la esclavitud. Ya en el siglo XIX cambia ese modo de producción por el del colono independiente y obreros asalariados.

Similarmente, si en las Provincia del Cauca y Cundinamarca desde la colonia hasta el siglo XIX primaron las haciendas de régimen feudal, tras la colonización antioqueña ocurrida a lo largo del siglo XIX y la consecuente ocupación de grandes baldíos y tierras de Concesiones del territorio, se da la construcción del Paisaje Cultural Cafetero, soportada en una economía cuyo modo de producción es capitalista, cambio que se debe a la presencia del colono quien reza: "la tierra para quien la trabaje".

Posteriormente, a esta transformación rural le sucede la urbana caracterizada por un modelo de poblamiento bien distribuido que se explica por la estructura minifundista de la propiedad gracias al

café y al proceso colonizador, el que se empieza a invertirse a partir de 1970 tras la irrupción de la Revolución Verde.

B1- Uso; transformación, flujo y disposición final de recursos.



Imagen 10: Dinámicas en el territorio de Manizales. U. de Antioquia

La ecorregión cafetera es un jardín biodiverso mal utilizado que alberga el 7% de las especies de plantas y animales (Instituto von Humboldt, 1997), un patrimonio biótico hoy amenazado por procesos antrópicos como deforestación, potrerización, uso de agroquímicos y desarrollos urbanos.

Antes dominada por bosques, la ecorregión ahora sólo conserva una fracción de su cobertura original, porque muchos paisajes son cafetales, plataneras, potreros, plantaciones forestales y algunos cañaduzales. Según las coberturas en 2002, de un uso potencial del suelo para usos forestales del 54% del territorio, los bosques solo llegaban al 19%; y en ganadería, mientras el potencial de la ecorregión es sólo del 4%, la cobertura llegaba al 49%; además en los usos agrícolas y agroforestales, de un potencial del 21% y 20% en su orden, la cobertura en el uso agrícola subía al 30% y la agrofostería no se implementaba.

La ciudad, toma materia y energía del entorno y tiene sus propias "excretas": Manizales genera 300 toneladas diarias de basura, y vierte 20 toneladas de carga contaminante en las aguas servidas de áreas no industriales, a sus tres distritos sanitarios (Olivares, Chinchiná y La Francia), a los que se suman cerca de 17 toneladas adicionales de las aguas de origen industrial que afectan cuerpos de agua, como la Quebrada Manizales donde se establece el principal sector industrial.

B2- Las Zonas y sus Funciones en los medios rurales y urbanos (I-R-C-S)

La Zona Industrial, que vale por su posición con respecto a los medios de transporte, por no ocupar el sector vecino al río Cauca en el occidente donde están los modos troncales (Aeropuerto del Café, Troncal de Occidente y Tren de Occidente), está mal localizada si se trata de persistir con industrias convencionales; y por quedar en la Q. Manizales presenta severos conflictos ambientales, ya por amenazas mitigables asociadas al uso conflictivo del suelo en su cuenca, ya por la afectación al ecosistema con sus vertimientos.

La Zona Residencial, que debe estimarse por su valor estético y paisajístico, muestra que las urbanizaciones más costosas de la ciudad ocupan el paisaje contaminado de su zona industrial, afectada por vertimientos industriales. Igualmente, falta desarrollar ciudadelas autosuficientes en

sectores populares como la Enea, La Sultana y Bosques del Norte, bien dotadas de infraestructura social y productiva, en lugar de expandir el hábitat favoreciendo los apetitos de los urbanizadores e inviabilizando el sistema de transporte masivo, con severo perjuicio para los sectores populares. La Zona Comercial, cuya importancia radica en que alberga el Centro Histórico en el que se soporta el carácter de nuestra ciudad y los edificios institucionales, se ha venido degradando más por la irrupción del automóvil que por la informalidad. Allí los moradores de los viejos inmuebles, no cuentan con garantías para mantener el valioso patrimonio arquitectónico e histórico. La Zona de Servicios, que suele valer por su nivel de equipamiento, debe incrementar el potencial de generación de riqueza de la ciudad asociado al sector de los servicios: en ella, más que por el número de camas, el sistema de salud o el hotelero se deben valorar por los servicios que ofrecen para los habitantes locales; y las Universidades que deben valer por sus programas de PhD, laboratorios y producción científica, se han venido valorando como centros de docencia por el número de estudiantes que llegan a la ciudad, y no como centros de investigación y desarrollo.

C1- Conflictos y contradicciones (Sociales, Ambientales, Económicos e Institucionales)



Imagen 11-12: El verde del café. Banner Revista Civismo SMP y Fotografía de Jaime Duque Escobar.

Dada la crisis del actual modelo democrático expresada en falta de liderazgo, desestructuración de los partidos y privatización de la cosa pública:

1. Se debe fortalecer la sociedad civil e implementar los mecanismos de participación ciudadana con fundamento en el civismo activo, con la civilidad como valor supremo de la cultura urbana.

Dada la crisis socioeconómica que se expresa en pobreza, desempleo e informalidad:

1. Se debe ubicar a las personas en el centro del desarrollo, priorizando la formación de capital social sobre el crecimiento económico.
2. Se deben implementar políticas de ciencia y tecnología imbricadas con la cultura, para resolver la brecha de productividad que sume en la pobreza los medios rurales.
3. Se debe consolidar la Ciudad Región del Eje Cafetero, conurbar el territorio y fortalecer el transporte rural como catalizador de la reducción de la pobreza.
4. Se debe desarrollar un nuevo modelo urbano más verde y más humano, priorizando la conformación de ciudadelas autosuficientes, descentralizando la infraestructura social y económica,

densificando el medio urbano para desarrollar la movilidad soportada en el transporte masivo y la peatonalización en lugar del carro.

Dada la amenaza del cambio climático y la falta de políticas públicas ambientales que enfrenten la problemática de los riesgos en el medio rural y urbano:

1. Se deben ordenar las cuencas, reforestar sus quebradas, implementar la cultura del agua, resolver los conflictos entre uso y aptitud del suelo y replantear el modelo agroindustrial cafetero desde la perspectiva ecológica, además de prevenir la especulación del suelo urbano que trafica con la plusvalía urbana y el uso del suelo.

C2- Gestión ambiental

Entre los temas socio-ambientales emblemáticos para el departamento de Caldas y para su capital Manizales, las propuestas verdes serían:

- 1-Una revolución educativa, con un modelo que desarrolle el talento humano, para lograr la reconversión productiva rural y el desarrollo social.

- 2- Más bosques y ordenamiento de cuencas, para proteger la biodiversidad y mitigar el impacto del calentamiento global.

- 3- El desarrollo de la identidad cultural en la ecorregión, soportado en su carácter triétnico, en el marco del Paisaje Cultural Cafetero.

- 4- Macroproyectos como el Ferrocarril Cafetero, el Puerto Multimodal de La Dorada, Aerocafé, la Transversal Cafetera y el Tren de Occidente para articular al país por Caldas.

5. Un nuevo modelo urbano con “crecimiento hacia adentro”, que descentralice la infraestructura social y económica, y conurbe el territorio.

- 6- Salvar el patrimonio material e inmaterial de Marmato y los ecosistemas de la zona de amortiguamiento del PNN de los Nevados, amenazados por las dinámicas del mercado y enclaves mineros.

La segunda refundación

Sabemos que la historia de Manizales ha estado marcada por desastres, como: 1- Los incendios de 1922, 1925 y 1926, que consumieron cerca de la cuarta parte del poblado. 2- La erupción del Ruiz en 1985, que sólo en Caldas causó cerca de 2000 víctimas humanas. 3- Los terremotos profundos de 1938, 1962, 1979 y 1995, y el sismo superficial de 1999 del Eje Cafetero que causó la muerte a 1185 personas. 4- El Niño de 1992 y las Niñas de 2007/8 y 2010/11 con sus devastadoras consecuencias hidrogeológicas, para el suministro de agua y la conectividad de la ciudad. No obstante, en torno al civismo, la ciudad logró sobreponerse a estas dificultades al emprender como colectivo una ruta de aciertos en materia de desarrollos tecnológicos y conceptuales en los temas socioambientales.

Pero si tras padecer guerras, incendios y desastres naturales, pese a su fragilidad la ciudad logró sobreponerse y salir airoso superando dichas adversidades gracias a un cúmulo de valores hechos virtudes cívicas, hoy el desafío parece mayor, no solo por la naturaleza ética de la problemática que padece, sino también por la profunda fragmentación de esta sociedad.

Hoy, cuando el debido uso de los bienes públicos, los derechos de los ciudadanos y el respeto a la vida se han profanado, los caldenses requerimos enfrentar esa amenaza de mayores dimensiones, relacionada con la pérdida de valores, que explica problemáticas como la pobreza, la exclusión y la violencia, además de otras relacionadas con la deshumanización de la economía que explican la destrucción de la democracia y la privatización del medio ambiente, por los agentes del mercado.

Mientras prioricemos el crecimiento económico sobre la formación de capital social y la sustentabilidad del medio ambiente, existirán menesterosos habitando las diferentes texturas urbanas y cosechando los residuos de las actividades ciudadinas; bienes que son patrimonios como el suelo urbano, el agua y la biodiversidad mantendrán el carácter de recurso que los hace objeto de explotación al servicio del mercado.

Además, las dinámicas urbanas, en lugar de redensificar, enverdecer y humanizar el espacio, le seguirán apostando a dos clases de guetos que desestructuran el tejido social en los escenarios urbanos: unos carentes de infraestructura donde la vida se deteriora y la inequidad profundiza la desigualdad humana, y otros constituidos por unidades residenciales cerradas para la clase pudiente que se aísla y protege de los pobres. Hoy, conforme los antivalores van colonizando la desesperanza, se acentuará la pérdida de las virtudes ciudadanas, y por lo tanto se fragmentará más nuestra sociedad.

Mientras persistamos en modelos de ciudades insolidarias y excluyentes, pensadas más para los carros y para el consumo que para la gente, y en un modelo educativo anacrónico y aburrido que no desarrolla el talento humano: los más pobres no tendrán opciones de vida y las consecuencias se harán insostenibles: los programas públicos terminarán fracasando, las intervenciones sociales no cumplirán su objetivo, se privilegiará el asistencialismo y la corrupción, y se dinamizarán los factores que deterioran el tejido social y degradan el sistema urbano.

Manizales, 5 de Marzo de 2014.

ENLACES U.N.

Acuerdo sectorial ganadero. Agua y clima en el desafío ambiental. Aguas subterráneas. Área metropolitana de Manizales. Cambio climático y gestión ambiental en Caldas. Clima, deforestación y corrupción. Colombia biodiversa: potencialidades y desafíos. Colombia, país de humedales amenazados. Colombia Tropical ¿y el agua qué? Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia. Cultura del agua en los ríos urbanos.	Economía colombiana: crisis y retos. Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial. El agua en Colombia: glosas. El desarrollo urbano y económico de Manizales. Gestión y política pública ambiental, para el patrimonio natural en Colombia. Huella hídrica en Colombia. La actividad minera solicitada en Planalto, es incompatible con el medio ambiente. Manizales: El futuro de la ciudad. Nuestros bosques de niebla en riesgo.	Páramos vitales para la Ecorregión Cafetera. Patrimonio hídrico: carencias en la abundancia. Preservación Ambiental e Hídrica dentro de la Declaratoria del PCCC. Por falta de bosques con el agua al cuello. ¿Regresión ambiental en la Reserva de Río Blanco? Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia. Río Blanco, cuna de vida... Ríos urbanos para Manizales. Un pacto con la sociedad y la naturaleza. Un SOS por la bambusa guadua.

CAPÍTULO 7

FLUJO DE AGUA EN EL SUELO

7.1 Flujo descendente.

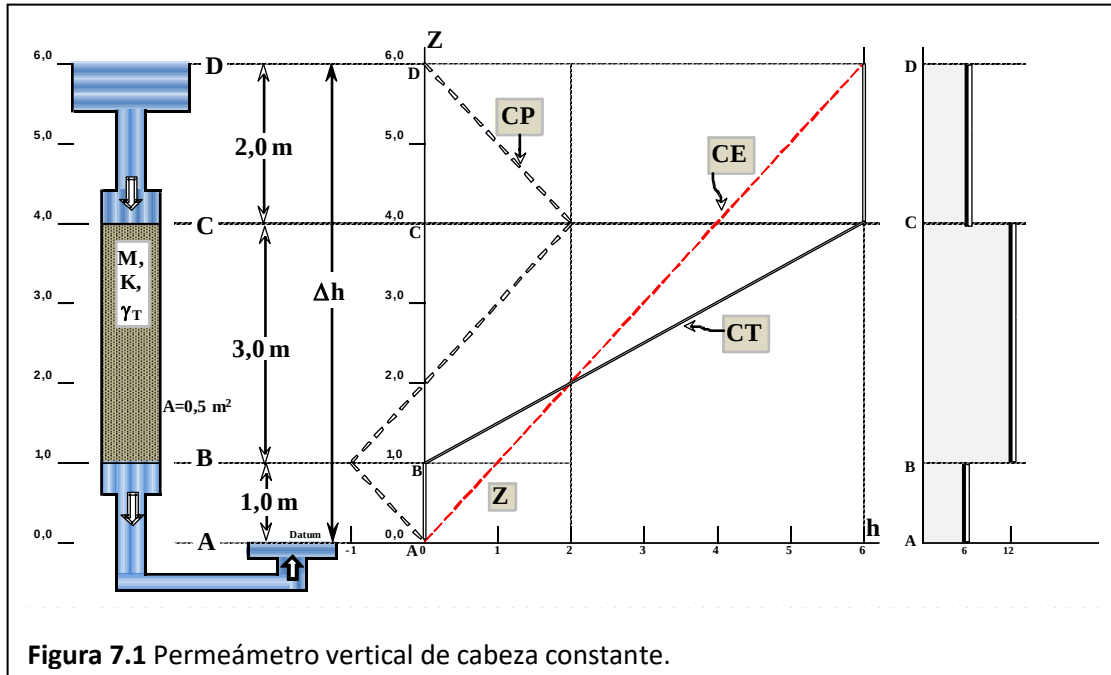


Figura 7.1 Permeámetro vertical de cabeza constante.

El permeámetro vertical de cabeza constante recibe agua por D, que fluye por el suelo entre C y B para salir por A. La diferencia de altura o cabeza disponible entre los extremos es de 6m y el flujo en el suelo es descendente.

Cálculo de i , Q , v , v_i , si el suelo tiene $K = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$; $\eta = 1/3$; $\gamma_T = 2 \text{ Ton/m}^3$

- a) $\Delta h = 6 \text{ m}$; $L = 3 \text{ m} \Rightarrow i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{6}{3} = 2 \text{ (DARCY)}$
- b) $Q = v \cdot A = K \cdot i \cdot A = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 0,5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sg}$ (DARCY)
- c) $v = K \cdot i = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m/sg}$ (velocidad de descarga v)
- d) $v_i = \frac{v}{\eta} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{1/3} = 18 \cdot 10^{-4} \text{ m/sg}$ (velocidad de infiltración v_i)

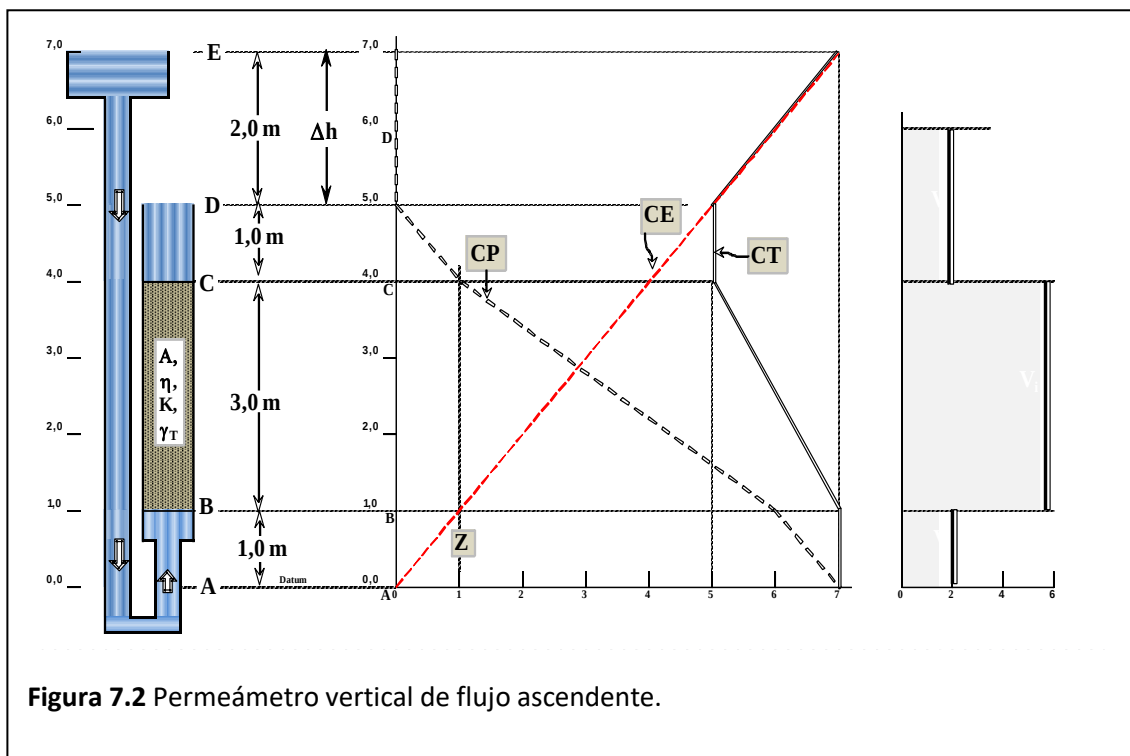
(La velocidad real es $v < v_i$)

Cálculo de cabezas: (Las rejillas sostienen el suelo en B y C, pero no al agua).

Punto	CE	CP (con flujo descendente)	CT = CE + CP
D	6m	0m	6 + 0 = 6m
C	4m	$\frac{2 * 1}{1} = 2m$	4 + 2 = 6m
B	1m	$\frac{2 * 1}{1} - \frac{3 * 1}{1} = -1m$	1 - 1 = 0m
A	0m	$\frac{2 * 1}{1} - \frac{3 * 1}{1} + \frac{1 * 1}{1} = 0m$	0 + 0 = 0m

$\Delta h = 6m$

Obsérvese que tanto el punto A, como el D, están a presión atmosférica y que interesa el peso del agua fluyendo hacia abajo, por lo que en CP (de A y B) existe signo negativo, para la columna de 3 metros.



7.2 FLUJO ASCENDENTE: La figura muestra un permeámetro vertical ($\Delta h = cte$)

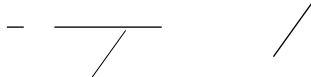
El permeámetro recibe el agua por E; esta fluye ascendiendo por el suelo, entre B y C, para salir por D. La diferencia de altura o cabeza disponible entre los extremos es de 2m. (El área transversal $A = 0,5 \text{ m}^2$)

Cálculo de i , Q , v , v_i , si $K = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$; $\eta = 1/3$; $\gamma_T = 2 \text{ TT/m}^3$

a) $\Delta h = 2m ; L = 3m \Rightarrow i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{2}{3} = 0,67$ (DARCY)

b) $Q = v * A = K * i * A = 3 * 10^{-4} * 1,5 * 0,5 = 1,0 * 10^{-4} m^3/sg$ (DARCY)

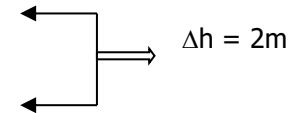
c) $v = K * i = 3 * 10^{-4} * 1,5 = 2,0 * 10^{-4} m/sg$ (velocidad de descarga; es la real)

d) 

(Velocidad de infiltración). La $v_{real} > v_{infiltración}$, es correcto.

Cálculo de cabezas: (en B y en C existen rejillas porosas para retener el suelo)

Punto	CE	CP	CT = CE + CP
E	7m	0m	7 + 0 = 7m
D	5m	0m	5 + 0 = 5m
C	4m	$\frac{1*1}{1} = 1m$	4 + 1 = 5m
B	1m	$\frac{1*1}{1} + \frac{3*1}{1} + \frac{2*1}{1} = 6m$	6 + 1 = 7m
A	0m	$\frac{7*1}{1} = 7m = CP_B - \frac{2*1}{1}$	7 + 0 = 7m



Compárese en ambos permeámetros, la cabeza de presión, CP del punto B. El signo +/- depende de la dirección del flujo (aquí es +).

Licuación: En un sismo el agua es forzada a evacuar el suelo. Cuando el agua asciende a través de la arena, gracias a la cabeza h , se produce un gradiente hidráulico de salida, como ocurre en la pared de aguas abajo de las presas. El esfuerzo vertical σ_v en la base de la arena A, vale:

$$\sigma_v = \gamma_{SAT} L \quad \text{(agua más suelo)} \quad (7.1)$$

La presión intersticial U en el plano A vale

$$U = \gamma_w (L + h) \quad \text{(agua sola)} \quad (7.2)$$

El esqueleto mineral del suelo estará atendiendo esfuerzos que no atiende el agua y que se denominan esfuerzos efectivos σ'_v . El esfuerzo efectivo vertical σ'_v es:

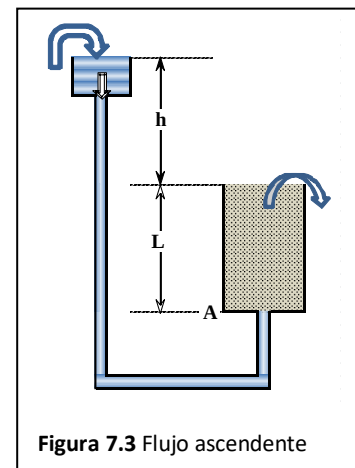


Figura 7.3 Flujo ascendente

$$\sigma'_v = \sigma_v - U \quad \textbf{(suelo solo)} \quad (7.3)$$

Reemplazo 7.1 y 7.2 en 7.3:

$$\sigma'_v = \gamma_s L - \gamma_w (L + h) = (\gamma_s - \gamma_w) L - \gamma_w h$$

$$\sigma'_v = \gamma' L - \gamma_w h$$

$$\sigma'_v = \gamma' L \left[1 - \frac{\gamma_w h}{\gamma' L} \right] \quad (7.4)$$

La licuación se presenta cuando se anula el esfuerzo efectivo: $\sigma'_v = 0$. Haciéndose (7.4) igual a cero, se obtiene el gradiente crítico i_c

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (7.5)$$

Naturalmente $i_c = \frac{h_c}{L}$, donde h_c es la altura crítica que en el permeámetro puede causar licuación cuando $\sigma'_v = 0$.

La ecuación (7.5) muestra que i_c es independiente del tamaño de los sólidos, y que la licuación puede darse en cualquier suelo. Pero en la práctica es más probable en limos, y en arenas de grano fino y medio.

En las arcillas, la adherencia del tipo stiction evita la destrucción de los esfuerzos efectivos, y en los suelos gruesos, la permeabilidad es alta, por lo que la demanda de agua para la licuación también lo es.

a) Suelo anisotrópico heterogéneo

En una estratificación, el flujo puede ser paralelo a las capas (a) o normal (b) de la figura 7.4. El problema consiste en obtener la permeabilidad K equivalente, en la dirección del flujo, K_x o K_z , con Darcy:

b) **Flujo paralelo:** El gradiente es el mismo en cualquier capa.

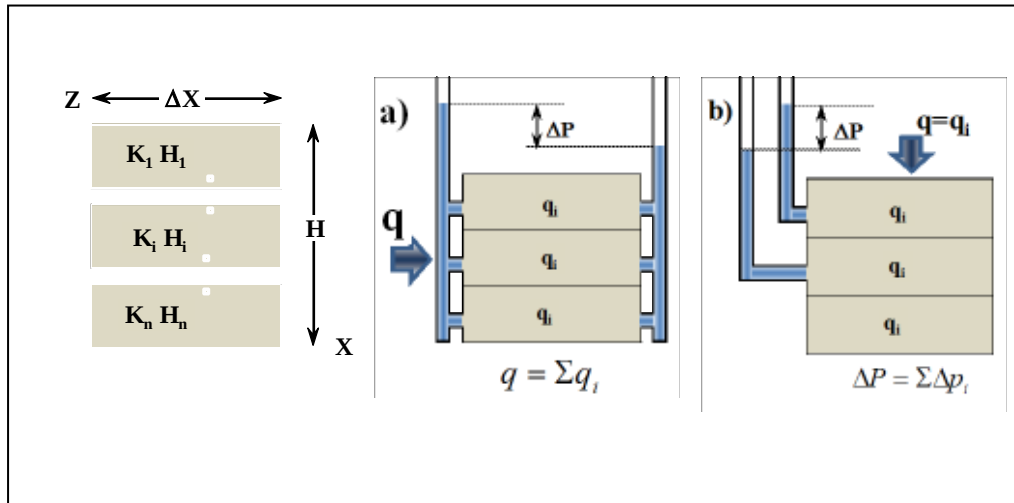
$$i = -\frac{\Delta P}{\Delta x} \quad \text{es constante}$$

$$q_i = K_i * H_i * i \quad \text{es el caudal en la capa } i$$

$$q = i \sum K_i H_i \quad (7.6) \quad \text{es el caudal total}$$

$$q = i K_x H = i K_x \sum H_i \quad (7.7) \quad \text{también es el caudal}$$

$$\text{de (7.6) = (7.7)} \quad K_X = \frac{\sum K_i * H_i}{\sum H_i} = \frac{\sum K_i * H_i}{H}$$



c) **Flujo perpendicular:** La velocidad no cambia en el suelo.

$$i_i = -\frac{\Delta P_i}{H_i} \quad (7.8) \quad \text{es diferente en cada capa}$$

$$i = \sum i_i = -\frac{\sum \Delta P_i}{\sum H_i} \quad (7.9) \quad \text{gradiente total}$$

$$q_i = K_i * \Delta X * i_i = -K_i * \Delta X \left(\frac{-\Delta P_i}{H_i} \right) \quad (7.10) \quad \text{con (7.8)}$$

$$q = K_z * \Delta x * i = -K_z * \Delta x \left(\frac{\sum \Delta P_i}{\sum H_i} \right) \quad (7.11) \quad (\text{con 7.9})$$

$$\sum \Delta P_i = -\left(\frac{q_i}{\Delta x} \right) \sum \left(\frac{H_i}{K_i} \right) \quad (7.12) \quad (\text{con 7.10})$$

$$\sum \Delta P_i = -\left(\frac{q}{K_z * \Delta x} \right) \sum H_i \quad (7.13) \quad (\text{con 7.11})$$

de (7.12) y (7.13), como $q = q_i$:

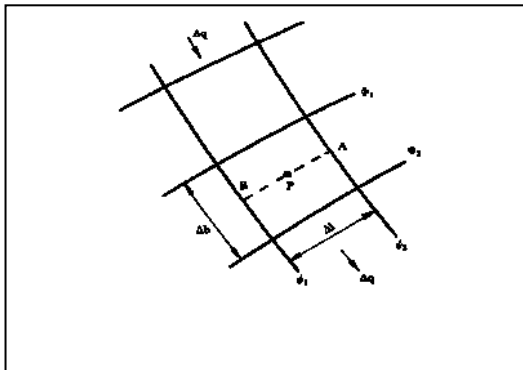
$$K_z = \frac{\sum H_i}{\sum \left(\frac{H_i}{K_i} \right)} = \frac{H}{\sum \left(\frac{H_i}{K_i} \right)} \quad (7.14)$$

7.3 FLUJO BIDIMENSIONAL.

Se ha visto el flujo unidimensional, con permeámetros horizontales y verticales (ascendente y descendente) y para una y varias capas (flujo paralelo y normal). Veamos ahora el flujo bidimensional

permanente, en suelo isotrópico, el que se gobierna por la ecuación de flujo de Laplace en dos variables, de segundo orden y homogénea, y que tiene dos soluciones: La función de potencial Φ y la función de corriente Ψ

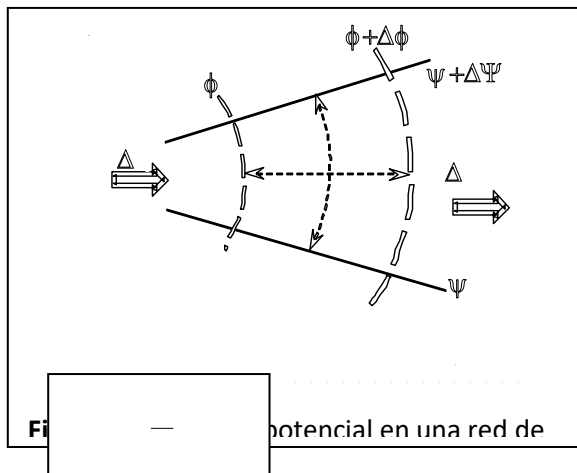
La ecuación diferencial es	POTENCIA $\Phi_{(x,z)}$	CORRIENTE $\Psi_{(x,z)}$
$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \Rightarrow$	$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = v_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}$ $\frac{\partial \Phi}{\partial z} = v_z = -K \frac{\partial h}{\partial z}$	$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = -v_z = K \frac{\partial h}{\partial x}$ $\frac{\partial \Psi}{\partial z} = v_z = -K \frac{\partial h}{\partial z}$



Resolviendo estas (integrado), se llega a estas soluciones

Donde h es la cabeza hidráulica total, por lo que Φ es una medida de la cabeza hidráulica total. De otro lado $\Delta q = \Psi_2 - \Psi_1$, significa que el caudal entre dos líneas de corriente es constante y, en consecuencia, las líneas de corriente no se cruzan.

Como $\Delta q = \text{cte.}$, $a/b = \text{cte.}$, en la red de flujo



Según Darcy: $v = K \cdot i$, pero

$$v = \frac{\Delta q}{b} \text{ y también :}$$

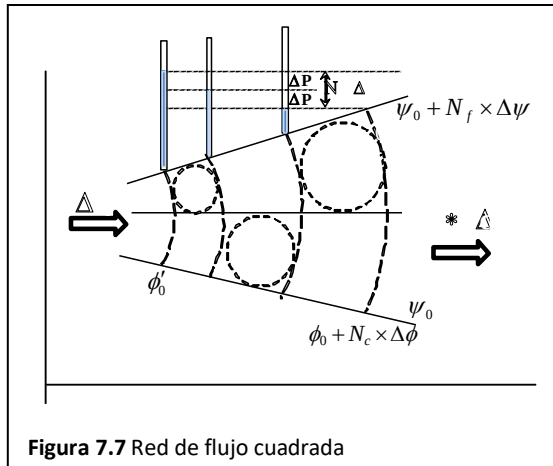
$$i = \frac{\Delta P}{a} \text{ entonces :}$$

$$\frac{\Delta \Delta q}{b} = -K \left(\frac{\Delta P}{a} \right)$$

$$\text{Pero según I} \Rightarrow \Delta \Phi = -K \Delta P \therefore$$

(7.16)

RED DE FLUJO CUADRADA: Tomando el valor de q de las expresiones 7.15 y 7.16, si $a = b$, entonces:



cabeza total (h):

$$\Delta q = \Delta \Psi = \Delta \Phi \quad (7.17)$$

Simplificado el problema, tenemos la posibilidad de sumar los elementos de la red de flujo, de acuerdo al número de canales N_f y número de caídas de potencial N_c , así: de (7.17)

$$q = N_f \Delta q = N_f \Delta \Psi = N_f \Delta \Phi \quad (7.18)$$

$$\text{o sea } q = \left(\frac{N_f}{N_c} \right) N_c \Delta \Phi \quad (7.19)$$

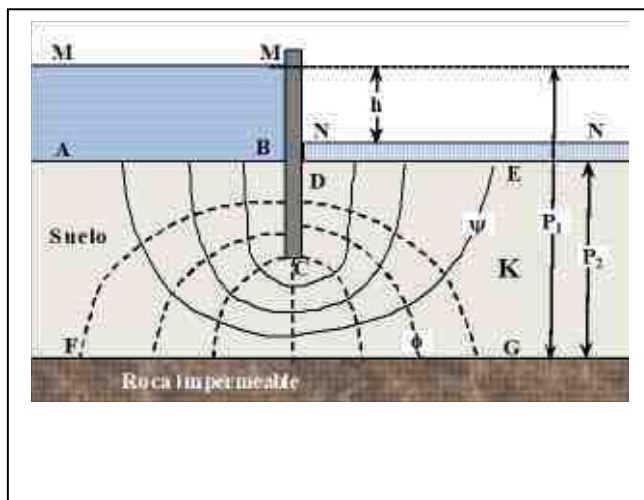
pero según 7.15, de tiene

$$N_c \Delta \Phi = -K N_c \Delta P = -K(P_2 - P_1) \quad (7.20)$$

Llevando (7.20) a (7.19), donde $(P_2 - P_1)$ es la

$$\boxed{\quad \quad \quad}$$

(7.21)



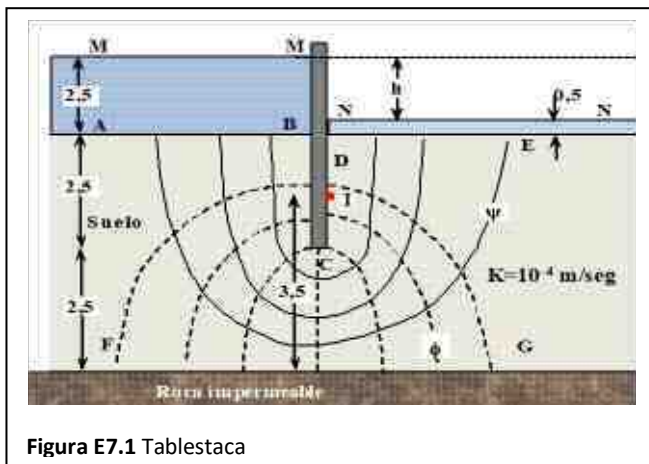
d) TABLESTACA

e) En la figura 7.8, una tablestaca impermeable (MC), controla un embalse con cabeza ($h = MN$), y produce un flujo (desde AB hasta DE), cuya red cuadrada se muestra con las líneas de flujo (continuas) ortogonales a las de potencial (puntos).

- Son equipotenciales Φ , además: MM', NN' CD, y GH; también $N_c = 8$
- Son líneas de corriente Ψ , además: BC, CD y FG; también $N_f = 4$

- La red se dibuja sólo en el suelo saturado, no en la roca ni en el agua.

Ejercicio 7.1: En la figura, con la red anterior, calcule q , ΔP , P_i , U_i

Solución:

$$q = -K \frac{Nf}{Nc} (P_2 - P_1) \therefore (\text{Según fig. pág. 66})$$

$$q = -10^{-4} * \frac{4}{8} (5,5 - 7,5) = 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$\Delta P = \frac{(P_1 - P_2)}{Nc} = \frac{-2}{8} = -0,25 \text{ m}$$

P_1 : La línea de flujo, en el recorrido BCI, pasa por $6\frac{1}{2}$ cuadritos, lo que supone, una caída de potencial de $-(6,5 \times 0,25) \text{ m}$. Entonces, mirando el punto I, media de CD, en la red,

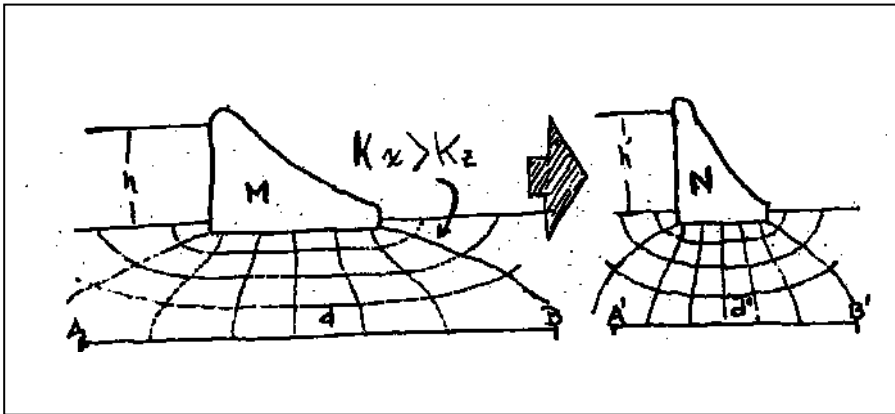
$$P_I = P_1 - (6,5 * 0,25) = 7,5 - (6,5 * 0,25) = 5,88 \text{ m}$$

U_I : se tiene la cabeza total P_I , ya calculada, y se conoce la expresión de la cabeza piezométrica.

$$P_I = \left(\frac{U_I}{\gamma_w} \right) + Z_I \therefore$$

$$U_I = \gamma_w (P_I - Z_I) = 9,81(5,88 - 3,5) = 23,3 \text{ KN/m}^2$$

f) CONDICIÓN ANISOTRÓPICA



$$A'B' = AB * \sqrt{\frac{K_z}{K_x}}$$

$$h' = h$$

Esta situación conduce a una red de elementos rectangulares como "d" para que se cumpla en M la condición $\Delta q = \Delta \Psi = \Delta \Phi$ que utiliza la solución gráfica del problema. Se resuelve la anisotropía gráficamente, con un cambio de escala, como se ve en N, afectando la escala horizontal y no la vertical (o lo contrario) para obtener cuadrilongos como "d" equivalentes a los rectángulos como "d". El factor de escala será 1 para E_v y $\sqrt{K_z/K_x}$ para E_h .

g) EXPLICACIÓN DEL MÉTODO GRÁFICO

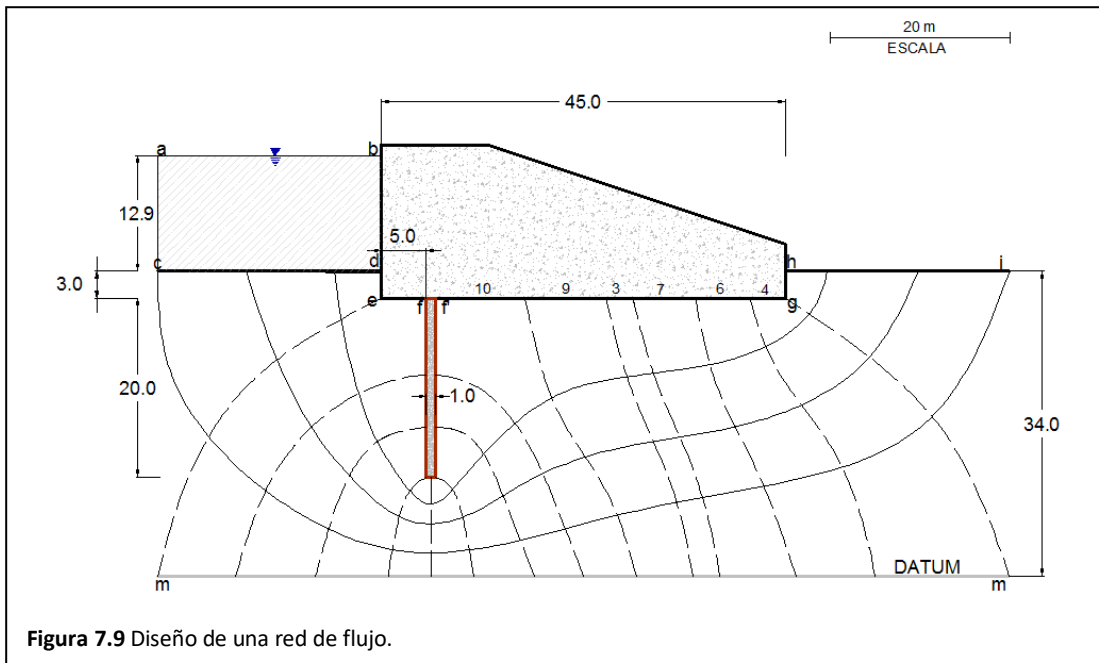


Figura 7.9 Diseño de una red de flujo.

El procedimiento para dibujar la red de flujo es:

Seleccionar las escalas E_H y E_V adecuadas ($f_{(K_x, K_z)}$).

Definir las fronteras de Φ y Ψ .

Delinear las líneas de corriente extremas, es decir, el canal de flujo.

Bosquejar unas pocas (3 – 4) líneas de corriente entre las extremas.

Dibuja líneas equipotenciales ortogonales a las de corriente, formando cuadrilongos. Obsérvense los ángulos de 90° sobre mn, el piso de la presa y la tablestaca, también a la entrada (cd) y salida (hi) del flujo.

Mejorar la red, comprobando que en cada elemento cuadrilongo las diagonales se cortan a 90° (o que se pueden inscribir círculos, Figura 7.7).

Nota: puede ocurrir (casi siempre) que N_c no sea entero (ver dibujo).

Ejercicio 7.2.

Calcular la caída de potencial (ΔP) y el caudal (Q) bajo la presa de la figura, si las dimensiones son: a-c = 12,9 m; $K = 10^{-4} \text{ m/s}$; e-g = 45m; d-e = 3m; f-f' = 20m y c-m = 34m.

Solución:

De la figura $N_f = 4$ y $N_c = 14,3$. Además $H = 12,9\text{m}$

$$\Delta P = \frac{H}{N_c} = \frac{12,9}{14,3} = 0,9\text{m}$$

$$Q = K * H \left(\frac{N_f}{N_c} \right) = 10^{-4} * 12,9 \left(\frac{4}{14,3} \right) = 46,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ejercicio 7.3.

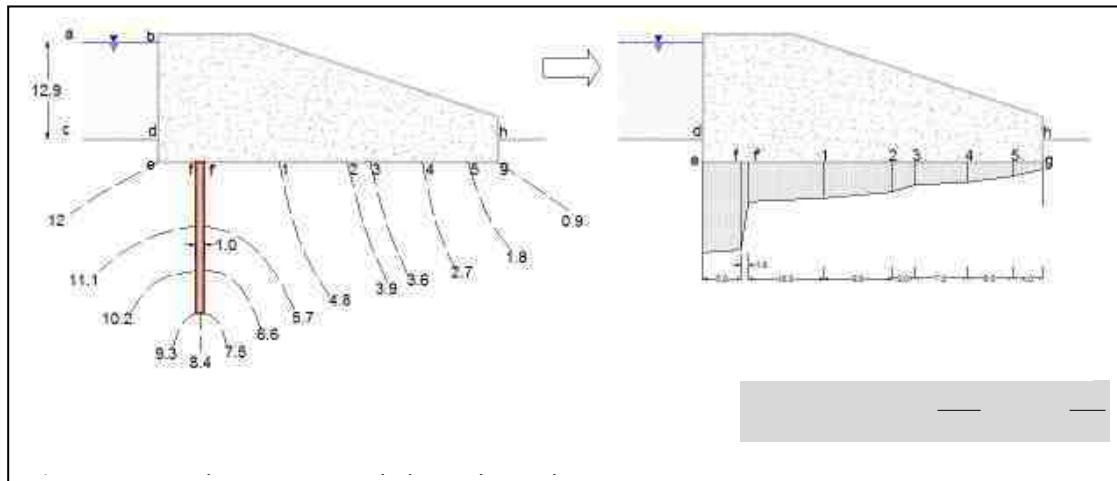
Calcule la siguiente tabla de energía, para el caso anterior

h) Punto	CE	CP	Punto	CE	CP
D	34m	12,9 = H	R	8m	5,7 = H - 8 ΔP
E	31m	12,0 = H - ΔP	S	10m	4,8 = H - 9 ΔP
F	31m	11,6 = H - 1,4 ΔP	T	11m	3,9 = 0 + 4,3 ΔP
f'	11m	5,2 = H - 8,6 ΔP	G	31m	0,9 = 0 + ΔP

NOTA: La magnitud de la subpresión se disminuye con una tablestaca aguas arriba.

Ejercicio 7.4.

Calcule la subpresión en la base de la presa anterior y su posición en la base de la presa (Id, en la tablestaca, la ΔP horizontal)

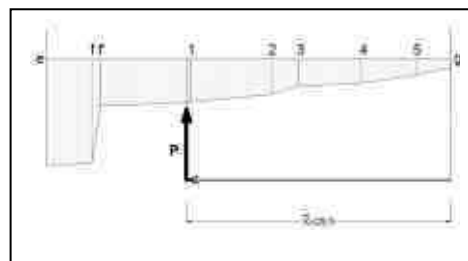


Punto	e	f	f'	1	2	3	4	5	g	
U_w	12,0	11,6	5,2	4,8	3,9	3,0	2,7	1,8	0,9	
$\Delta S = X_i - X_j$	5m	1m	10m	9m	3m	7m	6m	4m		Distancia
área i j	59	8,4	50	39,2	10,4	20	13,5	5,4		Fuerza

- ΔS está leído a escala y es la base de un trapecio, con altura U_w .
- Las áreas se calculan con $\Delta S \cdot (U_i + U_j) / 2$ en Ton fuerza por metro de presa.
- **P.** la subpresión $= \Sigma \text{áreas} = 205,9$ Ton fuerza por metro lineal de presa

Para calcular $\bar{X}$, punto de aplicación de la resultante P de las subpresiones, supongamos el volcamiento de la presa ¿cómo actúa P? El empuje de la subpresión hacia arriba (como el del agua por la derecha) genera volcamiento, por rotación derecha, en torno al punto g.

Trapezio		Área i j	MOMENTO i j
e-f	42,5 m	59,0	2507,5
f-f'	39,5 m	8,4	331,8
f'- 1	34 m	50,0	1700,0
1 - 2	24,5 m	39,2	960,4
2 - 3	18,5 m	10,4	192,4
3 - 4	13,5 m	20,0	270,0



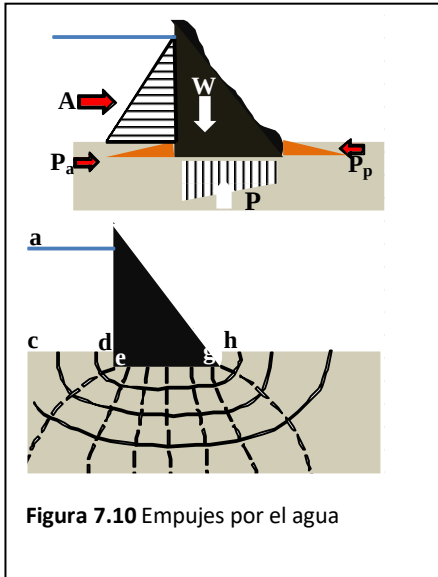


Figura 7.10 Empujes por el agua

$$\bar{X} = \frac{\sum \text{Momentos } i j}{\sum \text{Áreas } i j} = \frac{\sum \text{Momento } i j}{P}$$

$$\bar{X} = \frac{6067,4 \text{ TT} \cdot \text{m por metro}}{205,9 \text{ TT por metro}}$$

$$\bar{X} = 29,5 \text{ m (a la izquierda desde g)}$$

tablestaca.

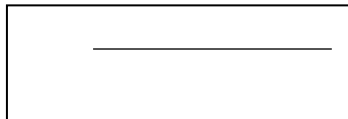
Ejercicio propuesto. Calcule el empuje neto en la

EFFECTOS DEL AGUA EN LA PRESA. El flujo trae efectos complementarios, a las otras fuerzas que actúan en la presa (carga de agua, peso de la presa, etc.). El diseñador deberá garantizar la estabilidad de la presa con base en los siguientes "Factores de Seguridad" y conceptos:

FS al volcamiento $\geq 2,5 \rightarrow \Sigma$ momentos en g = 0 (todas las fuerzas)

FS por licuación $\geq 5 \rightarrow$ Depende del gradiente de salida i_s

FS por deslizamiento $\geq 2,5 \rightarrow$ Depende de la resistencia al empuje.



Volcamiento.

Contribuyen al volcamiento:

- a. el empuje del agua (A), que actúa a $\frac{1}{3}$ de h (tomado desde el nivel del terreno) y su valor es

$$\text{—}$$

- b. Cuando la presa está empotrada en el suelo se presenta una presión activa del suelo, equivalente a

$$\text{—}$$

- c. Las presiones en la base de la presa o la subpresión.

Se oponen al volcamiento el peso (W) de la presa y el empuje pasivo del suelo (P_p), en la pared hg, siendo

$$\text{—}$$

NOTA: — ; en arenas, $K_a = \frac{1}{3} K_p$, y el peso unitario sumergido $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Licuação.

El gradiente de salida (i_s) se mide en la pared (h-g) de la presa: — , se compara con el gradiente crítico (i_c) del suelo permeable: — (ecuación 7.5).

$$\text{—}$$

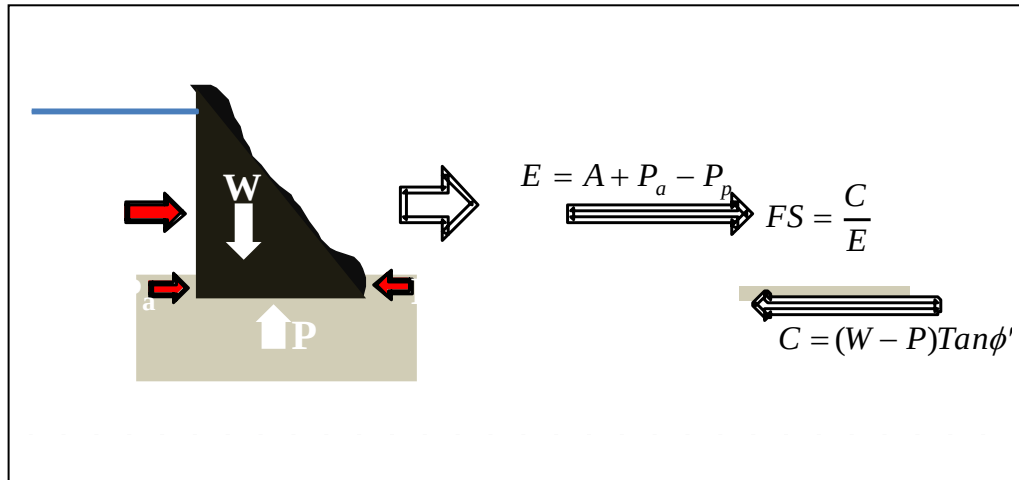
En el ejercicio anterior, asumiendo $\gamma_{SAT} = 1,8 \frac{TT}{m^3}$, tenemos:

$$\left. \begin{aligned} i_s &= \frac{\Delta P}{gh} = \frac{0,9m}{3m} = 0,3 \\ i_c &= \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{0,8}{1} = 0,8 \end{aligned} \right\} FS = \frac{i_c}{i_s} = \frac{0,8}{0,3} = 2,7 \text{ insuficiente}$$

¿Cómo evitar la licuación? Colocando la tablestaca aguas abajo.

Deslizamiento.

Supongamos que se desprecia la excentricidad entre las fuerzas W y P . Así, la fuerza efectiva será $W - P$ normal al piso y con ello el cortante disponible " C " será $\tan\phi$ por la normal, que es $W - P$.

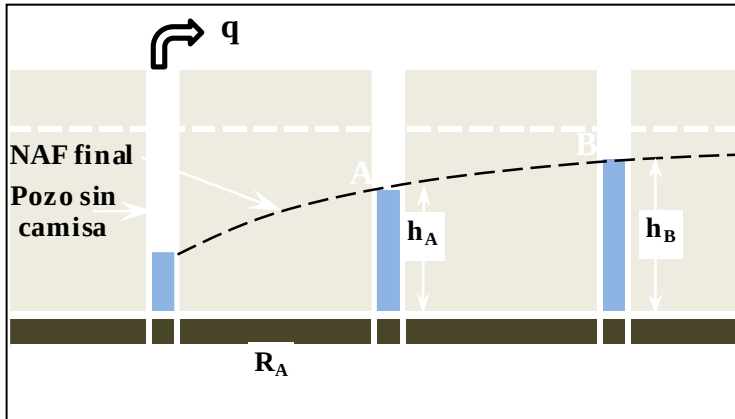


NOTA:

- Para prevenir la tubificación se busca que $i_{\text{SALIDA}} \leq 0,5$ más geotextiles en (g-h), que es la pared de aguas abajo de la presa.
- Para reducir el caudal infiltrado, se tienen dos soluciones: Una es colocar una tablestaca en la mitad de la base de la presa; otra, instalar un manto impermeable aguas arriba.
- 1. Calcular Q ; FS_{LIQ} ; FS_{VOLC} ; FS_{DESLIZ} en la presa adjunta. Posteriormente obtenga tres soluciones diferentes así:
 - Bajar el gradiente de salida con tablestaca aguas abajo; a la 3ª parte del (i_s) anterior.
 - Reducir la subpresión a la mitad del primer caso, con tablestaca y manto impermeable aguas arriba.
 - Reducir el caudal del primer caso, a la mitad, colocando como medida correctiva un manto impermeable aguas arriba.

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD (K) EN EL TERRENO (acuífero inconfinado)

Uno de los métodos es el bombeo con flujo no confinado, para las condiciones siguientes del estrato permeable, a evaluar; h y q = constantes estables.



A' y B' pozos de observación, a distancias R_A , R_B

q = descarga en el pozo de extracción.

$$K = \frac{q * \ln(R_B - R_A)}{\pi(h_B - h_A)(h_B + h_A)}$$

1. El gradiente hidráulico es la pendiente del NAF final, $i = \frac{dh}{dR}$
2. El piso, el NAF inicial y la roca, son superficies horizontales.
3. El flujo es horizontal, es decir, el NAF y el NAP coinciden.

Veamos: $q = A * V = A * K * i$ (DARCY) 1

Pero $A = 2 \pi R h$ área sección atravesada por el flujo

$$q = 2\pi R h * K * \frac{dh}{dR} \quad (\text{hipótesis \# 1}) \quad 2$$

$$\text{Luego } \frac{dR}{R} = \frac{2\pi K}{q} * h dh$$

Al integrar entre $R = R_A$ y R_B , y entre $h = h_A$ y h_B , tenemos:

$$\ln\left(\frac{R_B}{R_A}\right) = \left[\frac{2\pi K}{Q}\right] \left[\frac{h_B^2}{2} - \frac{h_A^2}{2}\right] \quad \therefore$$

$$K = \frac{q * \ln\left(\frac{R_B}{R_A}\right)}{\pi(h_B - h_A)(h_B + h_A)} = \frac{q * \log\left(\frac{R_B}{R_A}\right)}{1,364(h_B^2 - h_A^2)}$$

Se puede evaluar K en perforaciones encamisadas, de diámetro d, si se hace con cabeza constante I, se mide el caudal (q) con el cual el NAF se mantiene constante a la profundidad h. Si se hace con cabeza variable II, se toma el tiempo t entre h_1 y h_2 .

$$I \Rightarrow K = \frac{q}{2,75 * d * h} \qquad I \Leftrightarrow K = \frac{d}{0,92 * t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

DOCUMENTOS DE COMPLEMENTO ON LINE

[Análisis de estabilidad de taludes.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Auscultación de taludes.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Caldas en la biorregión cafetera.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2014) Ponencia para el Foro "Por la Defensa del Patrimonio Público, las Fuentes de Empleo y el Bienestar de los Caldenses". U. de Caldas.

[Calentamiento global en Colombia.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: El Día Mundial del Medio Ambiente, Junio 6 de 2011, Instituto Universitario de Caldas.

[Coberturas vegetales.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Corrección de cauces torrenciales.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Erosión y movimientos en masa.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Estructuras de contención.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Estructuras de drenaje.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia.](#) Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Geomecánica de las laderas de Manizales.](#) Duque Escobar, Gonzalo; Duque Escobar, Eugenio; Murillo López, Cristina (2009) Foro "Gestión del Riesgo por Inestabilidad de Terrenos en Manizales" Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 13 de agosto de 2009.

[Geomecánica. Book.](#) (10 Book Section) Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2016) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.

[Geotecnia para el trópico andino.](#) Escobar Potes, Carlos Enrique; Duque Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

[Geotecnia para el trópico andino.](#) Escobar Potes, Carlos Enrique and Duque Escobar, Gonzalo (2016) Book. (10 Book Section). U.N. de Colombia, Sede Manizales, Colombia.

[Geotecnia para el trópico andino;](#) Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[La Geotecnia.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Laudato sí: El Cuidado de la Casa Común. Memorias.](#) Book. Luis Guillermo Restrepo Jaramillo · Emilio Chuvieco · Paola Andrea Calderón Cuartas · Monseñor Gonzalo Restrepo Restrepo · Rafael Fayos Febrer · Andrés Salazar Arango · Gunter Pauli · Antonio Elio Brailovsky · Gonzalo Duque Escobar). U. Católica de Manizales.(2020)

[Manual de geología para ingenieros. . . Book.](#) (20 Book Section). Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales

[Materiales térreos.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Mecánica de los suelos.](#) Book. (15 Book Section). Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2002) Universidad Nacional De Colombia.

[Obras de estabilización.](#) Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.](#) (II V) Duque Escobar, Gonzalo (2012). Curso Internacional sobre Microzonificación y Planeamiento Urbano. Manizales.

[Túnel Manizales.](#) Duque Escobar, Gonzalo; Duque Escobar, Eugenio (2010) Ponencia presentada en el XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, Sociedad Colombiana de Geotecnia-U.N. De Colombia. Manizales 2010.

[Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2012)

[Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2017) Presentación ante la Comisión Cuarta del Concejo de Manizales, del Jueves 11 de Mayo de 2017.

LECTURA 7: CALDAS EN LA ECORREGIÓN CAFETERA

Ponencia presentada en el auditorio José Restrepo Restrepo, durante la Celebración de los 102 años de fundación de la SMP de Manizales, el viernes 27 de junio de 2014.

Integración, cooperación y articulación: un sueño de región



Imagen 1: El Triángulo de Oro de Colombia: En el Triángulo de Oro de Colombia habita el 52 % de los colombianos y se genera el 64% del PIB.

La construcción de un territorio de paz, obliga a acuerdos regionales sobre acciones integrales, en función de objetivos estratégicos que generen sinergias culturales y ambientales, buscando resolver los conflictos y las problemáticas socio-ambientales de la ecorregión, a partir procesos participativos que propendan por la equidad en el gasto público, el empoderamiento del territorio, como del diseño de políticas públicas en materia social, ambiental y económica y de la transformación de las ventajas comparativas culturales y naturales, en factores de competitividad, implementando estrategias de C&T imbricadas con la cultura.

Veamos algunos elementos en el caso del Caldas y del Eje Cafetero.

Ecorregión y territorio como sujeto

En el Eje Cafetero con 2.5 millones de habitantes, el PIB pasó del 4.5% en 2001 al 3.2% en 2011. Caldas, con 984.000 habitantes, participa con el 1,5% del PIB, del cual más del 50% se concentra en Manizales cuya población de 393.000 representa el 40% de los habitantes, y el 35% restante del PIB se genera en los otros 26 municipios donde habita el 60% de dicha población.

Una oportunidad para resolver esa brecha, puede surgir de un nuevo modelo urbano “más verde e incluyente” que descentralice la infraestructura social y económica, y que contemple la conurbación del Eje Cafetero, además del aprovechamiento de proyectos estratégicos como la declaratoria del Paisaje Cultural Cafetero PCC, siempre y cuando se apliquen estrategias de

C&T que incluyan la Cultura y se orienten las políticas públicas hacia la consolidación de un territorio más justo, equitativo y soberano, y al desarrollo del capital social en la ecorregión.

La dimensión socio-económica

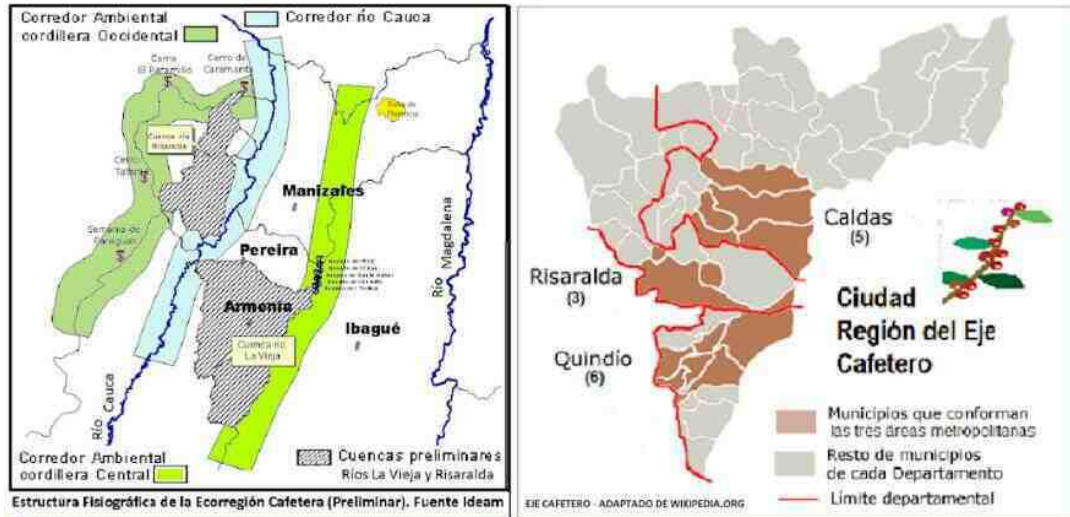


Imagen 2: Eje Cafetero: Estructura Ecológica (Ideam) y Áreas conurbadas (Blog SMP Manizales)

Proyectos notables para Manizales: Camino de La Elvira (1847); Camino de La Moravia (1890); Cable Aéreo Manizales – Mariquita (1922); Ferrocarril de Caldas (1927); Vía al Magdalena (1939); La Nubia (1961); Vía Irra – La Felisa y Túnel El Espejo (1986). Ahora, la Hidrovía del Magdalena, el Sistema Bimodal Cafetero (Ferrocarril Cafetero y Transversal Cafetera) y el Aeropuerto del Café, podrían cambiar el curso económico de la Ecorregión.

Fundado Manizales (1849), el poblado de bahareque y de caminos de arriería, vive un primer período de economía de subsistencia y guerras civiles que llega hasta la guerra de los Mil días (1900-03).

En los albores del siglo XX la aldea entra a un segundo período de acumulación gracias al café; es el de los cables y ferrocarriles que llevan dicho producto más allá de los mares.

Sigue un tercer período de verdadero desarrollo económico, el del los Jeepaos y las Chivas, cuando se abren los caminos rurales para electrificar el campo y dotarlo de acueductos, escuelas y puestos de salud, con el concurso de la Federación Nacional de Cafeteros (1927) y sus Comités de Cafeteros.

Finalmente, a partir de 1970 entramos a un cuarto período de crisis, en el que palidecen los poblados cafeteros y el campo, no sólo por el deterioro de los términos de intercambio, sino también por las consecuencias demográficas y ambientales de la Revolución Verde.

Y tras palidecer la sociedad industrial de ayer y haber desmontado el Estado solidario, nuestra sociedad ahora fragmentada entra a un quinto período, el de la globalización de la economía y la cultura.

La dimensión ambiental

El eje cafetero es un gran jardín deforestado: mientras el suelo apto para potreros es solamente el 4% del territorio, para dicho uso se destina el 49%; y mientras el potencial forestal es del 50%, la cobertura de bosques sólo alcanza el 30%.

En este territorio verde donde existen conflictos severos entre uso y aptitud del suelo, y los eventos extremos por el calentamiento global acechan, se debe avanzar en el ordenamiento de las cuencas, emprender acciones de adaptación al cambio climático, asegurar el suministro de agua potable y preservar los frágiles ecosistemas.

La mega-minería que amenaza los ecosistemas andinos y el agua en toda la alta cordillera, ha desestructurado el patrimonio cultural del occidente caldense en Marmato – Riosucio.

Como principio debe plantearse que mientras el oro y el carbón como recursos pueden ser explotados, el agua y la biodiversidad son un patrimonio.

Mientras los recursos son una mercancía objeto de explotación por el mercado, el agua, el suelo y la biodiversidad como bienes patrimoniales que deben preservarse, sólo deben ser objeto de aprovechamientos responsables.

La sociedad cafetera

Los habitantes de la “Tierra del café”, poseemos una cultura donde inciden determinantes de la caucanidad y la antioqueñidad, relacionados con los modos de producción de la minería en la Colonia y con los de la actividad agraria que florece en el Siglo XX, en ambos escenarios.

Primero, en la minería aurífera los modos de producción fueron diferentes: en la Provincia del Cauca se soportaba en la esclavitud, mientras en la de Antioquia dependía del trabajo del minero independiente. Segundo, mientras el modelo agrario caucano era el latifundio soportado en un régimen de servidumbre, el modelo de producción cafetera, surge del trabajo asalariado y del minifundio propiedad del colono.

No obstante, el cafetero también se enriquece del aporte librepensador del caucano de clase media, fruto de una apertura cultural que lo orienta al comercio: el payanes que al explotar el oro de Barbacoas recibía información de la Capitanía de Panamá, también recibía información del Virreinato del Perú por depender de Quito, e información de la Nueva Granada con quien finalmente comerciaba.

Pero tras décadas de verdaderas proezas cafeteras, abandonamos un modo de producción que engrandeció a Colombia entre 1900 y 1970, por apostarle a la Revolución Verde con el monocultivo del café y renunciar a la caficultura orgánica: los campesinos con solo dos años de escolaridad, al no poder asimilar el modelo financiero y tecnológico de la caficultura moderna, vendieron su tierra para emigrar a la ciudad generando una inversión demográfica en la que el país rural se urbaniza.

Hoy las estadísticas señalan que la proporción de población con Necesidades Básicas Insatisfechas en Caldas, es 17.76%, contra 0.99% en Manizales donde se concentra más del 50% del PIB caldense. Esto simplemente obliga a considerar nuestra pobreza campesina no sólo bajo parámetros de pobreza monetaria, sino de otros factores para plantear soluciones a la inequidad regional y social, y a las deficiencias en el desarrollo de las capacidades humanas de la población.

La ecorregión: un escenario biodiverso y pluricultural a resignificar y descubrir



Imagen 3: los siete mundos de Samoga

Conocemos los íconos culturales del Tolima Grande, de la Región Cundiboyacence, de las Montañas Santandereanas, de la Costa Atlántica, de Antioquia, del Pacífico o de los Llanos Orientales, pero no hemos desarrollado los nuestros en la ecorregión cafetera.

La Ecorregión Cafetera es multidiversa y pluricultural:

– *El Mundo de la Tierra: El alto occidente que, como tierra de resguardos y negritudes, además de ser una subregión panelera, es minera: en el oro de Marmato y Riosucio existe más novela y poesía que en el café.*

– *El Mundo del Agua: El Magdalena centro, que es tierra de ranchos de hamacas, de chinchorros, de subriendas de bagres, nicuros y bocachicos, del petróleo de Barranca, de los vapores por el río y de la expedición botánica.*

– *El Mundo del Aire: La región cafetera, tanto la que empieza en Neira y llega hasta el norte del Valle del Cauca, como la que avanza por Manzanares, es la de las chivas, el bahareque, los cables aéreos, los Ferrocarriles Cafeteros y la música de carrilera.*

– *El Mundo del Fuego: La región San Félix-Murillo de fértiles tierras y de paisajes andinos, que tiene sus propios íconos en el cóndor, el pasillo, la ruana de Marulanda, la palma de cera, y el sombrero aguadeño, es la zona fría de la alta cordillera con sus caminos de arriería.*

Paisaje Cultural Cafetero como macroproyecto integrador



Imagen 4 y 5: Manizales en el alba de los años 20, y Paisaje Cafetero. Por Guillermo Vallejo

Una estrategia para hacer del Paisaje Cultural Cafetero un factor de desarrollo, es la implementación del "bioturismo"- concepto que incorpora cultura y medio ecosistémico-, apalancado con un programa de vías lentas que cruce poblados lentos, tal cual lo propone la SMP de Marsella, Risaralda, al emprender el ordenamiento de la cuenca del río San Francisco.

Con el Paisaje Cultural Cafetero PCC, la suerte de los pequeños poblados cafetaleros dependerá del papel del transporte rural como catalizador de reducción de la pobreza, del bahareque como arquitectura vernácula, de la salud del suelo y del agua, del sombrío para la biodiversidad, de las sanas costumbres, y de un cúmulo de elementos tangibles e intangibles de nuestro patrimonio cultural y natural.

Pero el bioturismo que se soporta en lo autóctono y en la biodiversidad, exige una revolución educativa, para hacer viables la reconversión productiva, el desarrollo de la identidad cultural, el fortalecimiento del tejido social y la solución de la brecha de productividad entre ciudad y campo, y eficaz el apoyo institucional.

.

La descentralización de la infraestructura y las funciones urbanas

Los poblados cafeteros que se han rur-urbanizado, deben desarrollar competencias estratégicas para los centros urbanos de la Ciudad Región, bajo el presupuesto de la complementariedad de las funciones urbanas en las áreas metropolitanas de Pereira y Manizales.

El nuevo modelo urbano, debe propender por núcleos urbanos autosuficientes, donde se privilegie la movilidad autónoma y el transporte colectivo, en lugar de aplicar modelos de ciudades expandidas y de guetos urbanos; para esas ciudades pensadas para el automóvil y no para las personas, donde la infraestructura urbana privilegia al mercado.

Los poblados se transforman en ciudades intermedias, al espacializar sus funciones urbanas, así:

Las zonas industriales que, al valorarse por su posición con respecto a los medios de transporte, obligan a ubicarse de cara a los ferrocarriles, puertos, aeropuertos y autopistas.

Las zonas residenciales que valen por su función estética y paisajística, deben ubicarse lejos del paisaje de chimeneas de las zonas industriales donde ruidos, vibraciones y aceites derramados se suman a la polución de los vertimientos industriales.

Las zonas comerciales que suelen coincidir con los Centros Históricos, al estar constituidas por esos viejos inmuebles que le imprimen el carácter a la ciudad, deben mitigar el deterioro del espacio público, la informalidad y los procesos de lumpenización del centro ciudadano.

Las zonas de servicios que se valoran por su nivel de equipamiento, deben promover la eficiencia del transporte público urbano, y contar con centros de investigación y convenciones, cómodos hoteles, hospitales con servicios complejos, grandes centros comerciales e instalaciones culturales y deportivas...

Hacia la Ciudad Región en un escenario rur-urbanizado y conurbado

Las capitales cafeteras se han conurbado, en un escenario donde urge consolidar zonas metropolitanas más equitativas, para actuar como Ciudad Región complementando sus economías, y articulando el territorio tal cual lo ha logrado el Quindío.

Se requieren tres condiciones para conformar una Ciudad Región: articularse a un centro urbano de igual nivel de relevancia, que sea económicamente complementario, y ubicado a menos de 2 o 3 horas de distancia.

Sí la urgencia de las megalópolis es volverse internacionalmente competitivas y manejar problemas de escala, la de las ciudades intermedias es conurbarse conformando una ciudad región, para no palidecer.

Entre tanto, los pequeños poblados deben articularse a un centro urbano vecino de mayor nivel de relevancia, desarrollando una competencia de cara a las necesidades de dicha ciudad.

Mientras Bogotá es la única megalópolis de Colombia, con problemáticas como la movilidad y el crecimiento urbano, Medellín es una ciudad intermedia grande que sólo puede conurbarse con el Eje Cafetero, y las capitales cafeteras ciudades intermedias pequeñas cuya suerte dependerá de su capacidad de articularse hacia adentro y hacia afuera, buscando la complementariedad económica, para no sufrir procesos de vaciado entre sí y desde Cali o Medellín.

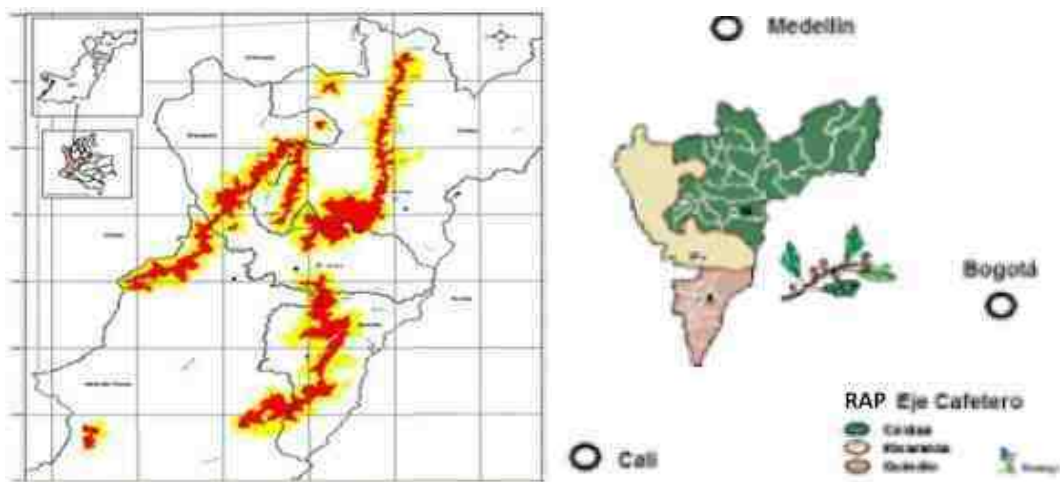


Imagen 6-Mapa del PCC en: <http://caleidoscopiosurbanos.blogspot.com> y Eje Cafetero en Blog de la SMP Manizales

Sinergias en la Subregión Centro-Sur de Caldas

La Subregión Centro Sur de Caldas, está conformada por cinco municipios, donde la zona urbana de su capital ocupa una posición central.

Manizales aportará su potencial económico y cultural, además de su equipamiento u oferta de servicios urbanos como ciudad intermedia.

Villamaría además de su natural vocación para la función residencial, contribuirá con el potencial turístico y ambiental de un segmento del Parque Natural de los Nevados.

Neira, su patrimonial arquitectura del bahareque en que se soporta el PCC, y la posición geoestratégica de Planes y El km 41 aptas para una zona industrial ligada a los corredores férreos y viales del cañón del Cauca, lugar de conexión del Ferrocarril Cafetero con el Tren de Occidente.

Chinchiná, la herencia cultural del caucano librepensador, como epicentro de los beneficios de la conurbación cafetera cuando se desarrolle Aerocafé e interactuemos como ciudad región con

Pereira. La Nueva Transversal Cafetera y Tesalia, pueden detonar en Chinchiná y el Rosario, un nodo de desarrollo logístico.

Palestina, es la llave de entrada para la ecorregión a las oportunidades de la declaratoria del Paisaje Cultural Cafetero. Aerocafé equipado con pista extendida a 3600 m, presenta ventajas para un aeropuerto de convergencias aéreas, apto para alcanzar mercados transoceánicos ubicados a 5000 millas con tarifas económicas, las que no se pueden alcanzar desde Matecaña donde sólo pueden operar aviones cuyo alcance de 3000 millas, que únicamente llegan a las Américas.

La infraestructura estratégica para el sistema de transporte

Primero, el desarrollo portuario colombiano “se ha modernizado” con una infraestructura insuficiente donde la meta ha sido igualar las condiciones del Canal de Panamá construido en 1914. Colombia debe avanzar con el FFCC Verde y la Hidrovía del Atrato, implementando un canal interoceánico que articule sus mares para entrar a los océanos de la economía planetaria, donde se moviliza el 90% de las mercancías y habita el 50% de la población del planeta.

Segundo: mientras el 40% del PIB y el 30% de la carga del país se generan en la región Centro-Andina, y el 30% del PIB y el 40% de la carga, se produce en el Occidente colombiano, falta un sistema de vías transversales para el transporte troncal cruzando el triángulo económico de Colombia: estas vías serían: 1- la nueva Transversal Cafetera que uniría a Bogotá con Pereira como centros de gravedad de ambas regiones, lo que complementaría la alternativa del Túnel de La Línea; y 2- el Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41, para conectar el Altiplano con los mares de la Patria y el Occidente de Colombia a la Hidrovía del Magdalena.

Tercero: mientras el transporte fluvial es 6 veces más económico que el Carretero, y el ferroviario 3 o 4 veces más barato, Colombia sigue sacando en tractomula los contenedores a sus mares. Además de la navegación por el Magdalena, debería emplearse el modo férreo extendido a lo largo del Cañón del Cauca entre el Pacífico y Urabá, para salir del Altiplano por Manizales a Buenaventura o a Turbo, con lo cual los fletes por kilómetro caerían entre tres y cuatro veces respecto a los fletes carreteros. Para Medellín, la salida al mar por Urabá en lugar de Cartagena, reduce la distancia al mar en un 40%, cuantía que se triplicaría en el incremento de las exportaciones, consecuencia de la reducción de los fletes extendiendo el tren de Occidente hasta el puerto antioqueño.

Cuarto: **Aerocafé**, proyecto que extendiendo su pista a 3600 m podrá resolver la condición mediterránea del Eje Cafetero y hacer viable el Paisaje Cultural Cafetero. Por su ubicación Aerocafé puede cumplir funciones de convergencia, al contar en un radio de 200 km con 23 millones de habitantes y permitir aviones tipo Jumbo, levantando 112 mil libras, contra 75 mil desde Río Negro o 83 mil desde El Dorado, alcanzando a bajo costo mercados a 5000 millas como Europa, Asia, África y Oceanía, además del Cono Sur, Canadá y la costa oeste de Norte América.

Nota: el desplazamiento de la Troncal de Occidente hacia la Variante La Tesalia, impondrá como reto aprovechar la ubicación estratégica del Km 41, sin gravar con nuevos peajes la conectividad interna de las comunidades rurales del Alto Occidente y Norte de Caldas.

Una agenda y unas estrategias

Si bien cada capital cafetera independientemente considera legítima su economía basada en actividades diversas, dada su proximidad en lugar de competir deben complementar sus economías e implementar un sistema de conectividad y movilidad interna, para conurbar sus áreas metropolitanas buscando consolidar un clúster urbano.

Además de atender las demandas ambientales de las cuencas blindando los ecosistemas estratégicos de la ecorregión cafetera, y de priorizar la acción del Estado en la formación de capital social frente al crecimiento económico, se debe avanzar en los procesos de identidad cultural en las diferentes subregiones.

El nuevo modelo urbano impone redistribuir la infraestructura social y económica, para lograr ventajas asociadas a la construcción de sinergias territoriales a partir de diferencias naturales y culturales, dado que la ecorregión es biodiversa y pluricultural.

Para abatir el centralismo como obstáculo para el desarrollo, cada departamento debe articular esfuerzos hacia la consolidación de la Región del Eje Cafetero, como única estrategia para resolver la limitación de su pequeña participación frente al PIB de la Nación.

El Eje Cafetero debe resolver su condición mediterránea: primero con los corredores viales para acceder a los mercados internos (Transversales y Autopistas); segundo encontrando una salida al mar más expedita (la Navegación del Magdalena y el Corredor Férreo del Cauca entre Urabá y Buenaventura); tercero materializando un aeropuerto de gran tamaño como Aero café para hacer viable el Paisaje Cultural Cafetero, complementado con Matecaña; cuarto fortaleciendo el transporte rural por ser un catalizador de la reducción de la pobreza; quinto expandiendo las TIC por toda la geografía regional; y Sexto integrando el Transporte Urbano de las áreas metropolitanas de Pereira y Manizales.

Conclusiones

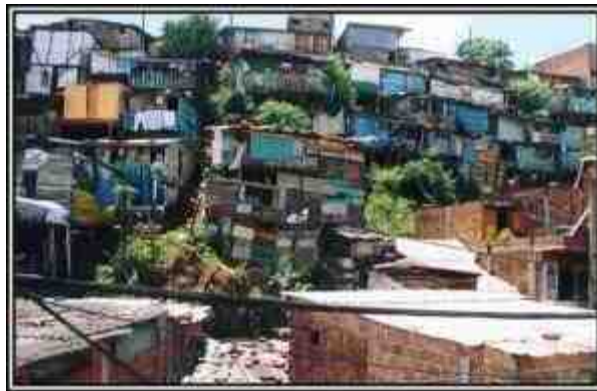


Imagen 8: Barriada manizaleña, en iammyownreporter.com

Una región debe soportarse en un territorio, entendido como un sujeto con identidad cultural resultado de procesos sociales e históricos. El transporte rural como catalizador de la reducción de la pobreza y las TIC, son fundamentales para consolidar el territorio.

Deben implementarse políticas públicas soportadas en procesos de C&T y cultura, para construir un territorio ambientalmente sustentable, socialmente equitativo y económicamente viable.

Urge un nuevo modelo urbano soportado en sinergias territoriales y en acuerdos para resolver la integración regional, abordando temas sustantivos como: pobreza, ruralidad, agua, cuencas, inversión pública, servicios públicos y movilidad urbana.

De implementarse un sistema de transporte que abrigue las áreas metropolitanas y rur-urbanas de las capitales cafeteras, crecerán la economía y las oportunidades sociales de la población.

Mientras la infraestructura sugerida para implementar un sistema modal del transporte para la zona andina, permitirá el desarrollo de nodos estratégicos en Honda-La Dorada, y en La Felisa – Km 41- La Virginia, Aero café será la fórmula para apalancar la apertura del Paisaje Cultural Cafetero.

Además, la integración del Eje Cafetero que empieza por consolidar las áreas metropolitanas de sus capitales y obliga a diferenciar competencias en las funciones urbanas, para a consolidar nuestra Ciudad Región, también será la fórmula para estructurar un eje de desarrollo en el Occidente Colombiano entre Medellín y Cali.

Para el desarrollo del Eje Cafetero, se hace necesaria la integración de los entes territoriales, en función de la autonomía institucional y la descentralización de los recursos de la Nación, tal cual se señala en el proyecto “Colombia: un país de regiones”, que propone Eduardo Verano de la Rosa, en Colombia país de Regiones.

Este documento presentado en el marco de la celebración de los 102 años de fundación de la SMP de Manizales, utiliza elementos de otras presentaciones similares del propio autor elaboradas para el POT de Manizales, y del material de soporte para los módulos de la Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo y de Economía del Transporte del posgrado en Vías y Transportes de Ingeniería Civil, de la U. N. De Colombia.

ENLACES U.N.

<u>Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global.</u> <u>Aqua para todos: el desastre del río Mira.</u> <u>Al Bahareque le Fue Muy Bien.</u> <u>Amenazas naturales en los Andes de Colombia.</u> <u>Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia.</u> <u>Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial.</u> <u>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.</u>	<u>El agua en la biorregión caldense.</u> <u>El territorio del Gran Caldas, “La Tierra del Café”.</u> <u>Gestión ambiental del riesgo en el territorio.</u> <u>Gestión del Riesgo por Sismos, Volcanes y Laderas..</u> <u>Huracán Iota: tifón que abate a San Andrés.</u> <u>La economía azul en la esfera de la producción.</u> <u>La encrucijada ambiental de Manizales.</u>	<u>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales.</u> <u>ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático.</u> <u>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</u> <u>Riesgo sísmico: los terremotos.</u> <u>Sismos y volcanes en Colombia.</u> <u>Sismo, bahareque y laderas.</u> <u>UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.</u>



MANUAL DE GEOLOGÍA PARA INGENIEROS. Duque Escobar, Gonzalo.
Universidad Nacional de Colombia (2020). See more at:
[**https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145**](https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145)

CAPÍTULO 8

EROSIÓN DE SUELOS

8.1. Erosión.

Las actividades de ingeniería vinculadas con excavaciones, construcción de terraplenes y adecuación de terrenos para edificaciones, entre otros, exigen el retiro de la vegetación y la movilización de grandes volúmenes de suelo. Las áreas intervenidas quedan desprovistas de vegetación o de la protección del suelo y son susceptibles a inestabilidad por procesos de erosión y movimientos en masa y el resultado es la movilización del suelo cuando las fuerzas actuantes vencen la resistencia que oponen las partículas de suelo. La erosión involucra el suelo hasta disminuir su eficacia como elemento funcional dentro de las soluciones de ingeniería.

La erosión del suelo es la remoción y el transporte de las partículas superficiales por acción del viento y el agua. Ambos adquieren energía cuando se presenta en las formas de precipitación (pluvial), de escorrentía (escurrimiento) y de vientos, que al estar en contacto con el suelo (las primeras por impacto y las segundas por fuerza tractiva), vencen la resistencia del suelo (Fricción o cohesión) generándose la erosión. Cuando el agua encausada en ríos y quebradas adquiere alta energía, vence la resistencia de suelos, arenas, cantos y bloques, los moviliza, transporta y deposita a los largo del valle. La acción erosiva de las corrientes es el principal modelador del relieve que observamos. La energía desarrollada por el viento (erosión eólica), vence la resistencia de las partículas de suelo, las moviliza y transporta.



Figura 8.1. Talud vial afectado por erosión. Las lluvias torrenciales adquieren la energía para labrar el talud en forma de surcos de erosión; el viento modela las formas redondeadas. En el pie del talud se depositan los sedimentos producidos por la erosión. (Carlos E Escobar P).

Muchos proyectos de ingeniería exigen la remoción de la vegetación y la realización de excavaciones de suelo generando problemas ambientales en laderas y cauces vinculados con la pérdida de áreas protegidas con vegetación, el incremento de la erosión y la incorporación de sedimentos a la corriente, hasta alterar los ecosistemas naturales, generar problemas por sedimentación y hacer menos resilientes los taludes y áreas vinculadas con el proyecto.

La erosión edáfica es un proceso normal de movilización, transporte y depósito de sedimentos, principal modeladora del paisaje, y las actividades agropecuarias, el urbanismo y la construcción y operación de la infraestructura para el desarrollo de los pueblos son los factores que aceleran los procesos denudativos y con ellos el incremento de la vulnerabilidad de laderas, taludes, infraestructura y viviendas a la inestabilidad por la acción de los factores del clima, principalmente las lluvias, los vientos y las temperaturas altas que acceden al suelo. La ausencia de la protección del suelo que brinda el follaje de la vegetación hace menos resiliente el suelo frente al cambio climático.

Otros procesos principales de remoción de suelo son los movimientos en masa y los procesos de transporte en masa, y cada uno es dominante en ambientes específicos.

La mayor parte de nuestros conocimientos sobre los mecanismos de erosión y sus tasas correspondientes se basan en el trabajo del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. El enfoque del SCS siempre ha sido pragmático, y sus predicciones en cuanto a tasas de erosión se han concentrado en torno al desarrollo y extensión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS). Los puntos tanto fuertes como débiles de la EUPS se hallan en la estimación de la erosión como producto de una serie de variables vinculadas con la precipitación, el grado y longitud de la pendiente; los factores edáficos y agrológicos, y los usos del suelo.

La erosión hídrica es propia de laderas e incluye el impacto de las gotas de lluvia que desprende el suelo por salpicadura lo compacta, reduce la infiltración, estimula la escorrentía y la capacidad hidráulica del flujo superficial con capacidad de acarreo de sedimentos.

La comprensión del fenómeno se soporta en la hidrología, en la hidráulica y en las propiedades del suelo (cohesión y tamaño de las partículas): la hidrología del suelo permite determinar las tasas de infiltración y el porcentaje de retención del agua por el suelo la hidráulica del suelo permite conocer las cualidades del suelo para dejar pasar flujos de agua por sus poros y la capacidad hidráulica de las aguas de escorrentía para movilizar sólidos.

La erosión de suelos, la pérdida de suelos y la acumulación de sedimentos son términos que tienen distintos significados en la tecnología de la erosión de suelos: la erosión de suelos es la cantidad bruta del suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia y por la escorrentía. La pérdida de suelo es el suelo desprendido de una pendiente determinada. La producción de sedimentos es el volumen de suelo depositado en un punto que está bajo evaluación.



Figura 8.2 Morfología del suelo característica de la acción de la erosión pluvial. La grava sirve de escudo al suelo y lo protege de la energía del agua. (Carlos E Escobar P)

8.2 Erosión hídrica. Es la erosión por agua lluvia y comprende la erosión por el impacto de las gotas sobre el suelo desnudo, la acción hidráulica de las aguas de escorrentía con capacidad de movilizar y transportar las partículas de suelo, y modelar el relieve.

a. Saltación pluvial. El impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación, desaloja y moviliza el suelo fino. El impacto compacta el suelo, disminuye la permeabilidad, estimula la escorrentía y contribuye al poder de erosión del agua de escurrimiento.

b. Escurrimiento superficial difuso. Comprende la erosión laminar en áreas desprovistas de vegetación afectadas por la saltación pluvial y ocurre cuando la velocidad del agua es menor de $30 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$.

c. Escurrimiento superficial concentrado. Se produce en surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños, figura 8.1), y en cárcavas que son canales o zanjones de mayor dimensión. Cuando el

flujo se hace turbulento, la energía del agua adquiere la capacidad de labrar canales paralelos o anastomados, llamados surcos; cuando estos se profundizan y amplían evolucionan a cárcavas, por las que circula agua concentrada durante y poco después de los aguaceros, movilizand grandes volúmenes de material.

d. Escurrecimiento subsuperficial. Las aguas infiltradas ocasionan la tubificación del suelo hasta formar cavidades cuando las fuerzas de filtración superan la resistencia del suelo. Es propio de suelos dispersivos o de formaciones calcáreas.

Aspectos relacionados con la erosión hídrica que deben considerarse:

1. Las geoformas denudativas creadas por la erosión.
2. Los fenómenos dinámicos asociados al transporte de las partículas.
3. La sedimentación y colmatación de los valles de los cauces.

8.2.1 Valoración del efecto de la erosión hídrica: se Utiliza:

$$Q_R = K \times E^\alpha \quad (8.1)$$

En donde Q_R es la erosión por lluvia, K un coeficiente de proporcionalidad, E la energía cinética de la lluvia y α una constante que depende del tipo de suelo (baja en arcillas y alta en arenas).

$$A = R \times K \times (LS) \times (CP) \quad (8.2)$$

En donde $R = E \times I_{30} \quad (8.3)$

La ecuación (8.2) presenta los factores más importantes para el control de la erosión. A : Es el promedio de pérdidas de suelo en Ton/Ha; $R = EI_{30}$ es el factor de lluvia, expresado como el producto de la energía de una lluvia con la intensidad I_{30} , de 30 minutos; K : es el factor de erodabilidad del suelo (función del tipo de suelo); LS : es la longitud de la pendiente y magnitud de la misma, lo que depende de la topografía del terreno y C : factor de uso del suelo (suelo árido = 1; praderas = 0,1; bosque, selva = 0,01)

8.3 Erosión fluvial. Es la erosión que se presenta en los cursos de agua (quebradas y ríos) y se presenta cuando la fuerza tractiva del agua vence la resistencia que ofrecen e los materiales, los moviliza en las formas de socavación lateral o de fondo. Los procesos movilizan arcillas, limos, arenas, gravas, cantos y bloques, en las formas de acarreo, en disolución, en suspensión y en acarreo de fondo. Los volúmenes movilizados por erosión fluvial en cauces torrenciales son altos.

TIPO	ACCIÓN	EFFECTOS
EROSIÓN HÍDRICA: La acción de las aguas lluvias y de	<i>Saltación pluvial:</i> Desalojo y dispersión por gotas de lluvia.	• Impacto de la gota de agua. • Reducción de la capa de infiltración. • Destrucción de los poros y de las fisuras del suelo expuesto

escorrentía con la contribución los agentes climáticos, sobre superficies inclinadas. NOTA: La acción es estimulada en laderas (naturales) y taludes (construidos)	• ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO	
	Erosión laminar: Arrastre uniforme de capas de suelo en distancias cortas.	• Ecurrimiento de suelos limosos y arenosos. • Es fuente importante de sedimentos.
	• ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO	
	Surcos de erosión: El escurrimiento concentrado forma pequeños canales paralelos.	• Destrucción de taludes y laderas. • Alto aporte de sedimentos. • Los canales se borran con perfilado y labranza.
	Cárcavas: Son zanjas profundas y amplias, de gran tamaño, difíciles de controlar.	• Acentuar el relieve promoviendo otras formas de inestabilidad. • Fuente importante de sedimentos. • Corrección de alto costo.
EROSIÓN INTERNA: Por flujo subterráneo.	• ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL	
	Tubificación y cavernas: Debilitamiento interno.	• Puede originar manantiales, cárcavas y hundimientos.
EROSIÓN FLUVIAL	Socavación de fondo	• Profundiza el fondo de los cauces naturales. • Desestabiliza las laderas. • Progreso remontante.
	Socavación lateral	• Elimina el soporte de laderas. • Amplia el lecho del cauce.

Tabla 8.1 Proceso de erosión hídrica y su contribución a la inestabilidad

• 8.4 Remoción en masa

Son un conjunto de procesos debidos a la transportación directa de materiales, por la acción de la gravedad sin que medie un agente de transporte (hielo, agua, viento).

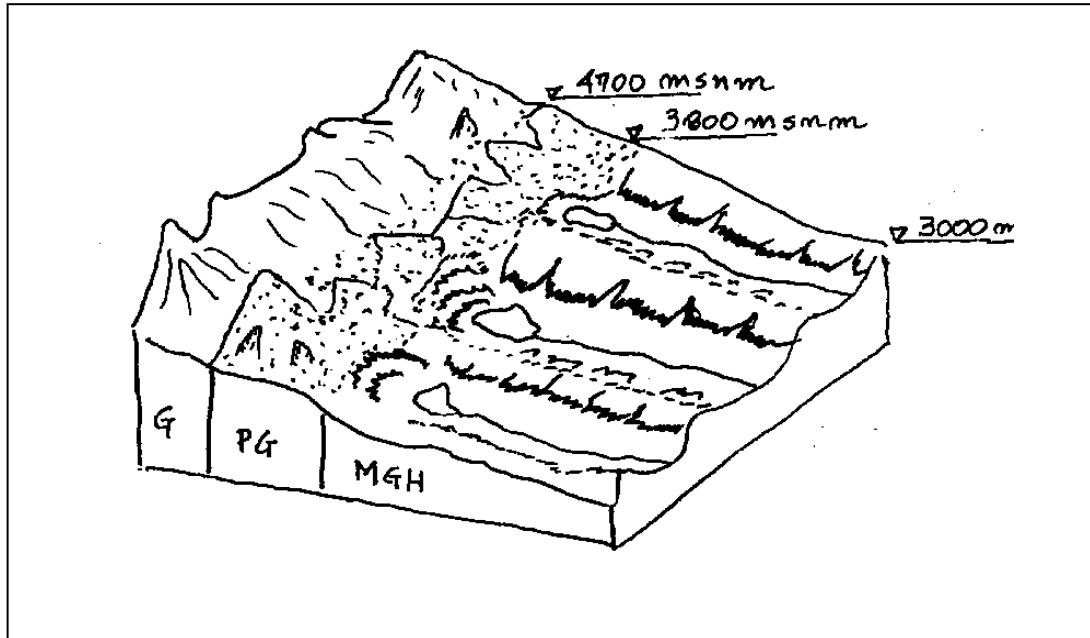
a. **Desplazamiento en masa.** Es la movilización descendente del material, en estado plástico o elástico, del interfluvio hacia la vaguada y en forma rápida o lenta. Estos fenómenos son del dominio de la *Mecánica de Suelos*.

b. **Transporte en masa.** Son movimientos de rápidos a muy rápidos de mezclas viscosas de agua y materiales térreos, que avanzan a lo largo de los cauces o sobre las depresiones del terreno y valles de salida de las corrientes. El flujo viscoso se puede originar a partir de masas desplazadas y su estudio es del dominio de la *Mecánica de los fluidos*.

8.5 Montañas altas en Colombia e inestabilidad (A. Florez)

Nuestras altas montañas presentan diferencia geomorfológica que es función de condiciones bioclimáticas ligadas al escalonamiento de altitudes.

Existen tres sistemas morfogénéticos ligados al frío actual y pasado, cuyos pisos resultantes son: Glaciar (G), periglacial (PG) y de modelado glaciar heredado anteholoceno (MGH), ver figura 8.3.



a. Piso glaciar (G): Sobre 4.700 m.s.n.m., se presentan “glaciares de montaña”, que son masas de hielo en movimiento. En Colombia, la neoglaciación terminó hace 11.500 años; en período histórico se han deglaciado el Cumbal, Chiles, Pan de Azúcar, Puracé, Santa Rosa, Quindío y Cisne y los actuales relictos que suman menos de 100 Km², son Huila, Tolima, Santa Isabel, Ruiz y las Sierras Nevadas de Chita, Santa Marta y Güicán.

Hoy retroceden y pierden espesor los nevados, las grietas glaciares aumentan y esta dinámica implica aportes de agua rápida y arrastres de sedimentos a los pisos inferiores, como también modificación de la frontera entre pisos, que va en ascenso, por inestabilidad del sistema.

b. Piso periglacial (PG): Entre 3.800 m y 4.700 m sobre el nivel del mar. Está la faja amortiguadora de los glaciares, pero este piso no necesariamente exige la presencia de un glaciar, aunque sí las condiciones de altitud y latitud para los procesos de frío y alternancia diaria o estacional del ciclo hielo – fusión. La ausencia de cobertura vegetal y de suelo es casi total, excepto en los niveles inferiores.

Los procesos son: escurrimiento difuso y concentrado (por hielo–deshielo); reptación por hielo de exhudación, transportes eólicos (deflación); gelifracción de rocas, descamación de rocas, coladas de barro por fusión de nieve y colmatación de lagunas con sedimentos.

El sistema morfogénético evidencia inestabilidad (migración).

c. Piso del modelado anteholoceno (MGH). En la gran glaciación, los hielos modelaron hasta los 3.000 m.s.n.m. en Colombia, creando circos, valles en U y cubetas de sobreexcavación, y dejando

morrenas y depósitos fluvioglaciares. Hoy, estos modelados cuentan con cobertura vegetal abundante y suelos orgánicos espesos. El piso comprende al páramo y parte del bosque alto-andino.

El modelado es abundante en cubetas de socavación glacial (hoy como lagunas o pantanos). Es el piso vital para las cuencas hidrográficas primarias. El sistema es muy estable hoy y sólo presenta procesos menores, como sofución en formaciones superficiales porosas, soliflucción en suelos muy húmedos, disección por escurrimiento superficial y moderada reptación.

La dinámica descrita es referida a condiciones exclusivamente naturales, pero la acción antrópica de las últimas décadas ha llevado a este escenario quemas, deforestación y actividades agropecuarias. El suelo, así, está expuesto a la erosión y pierde capacidad de infiltración (factores que repercuten en el ecosistema general).

8.6 Dinámica fluvial

La velocidad de una corriente fluvial, viene expresada por:

$$v = C\sqrt{RI} \quad (8.4) \quad \text{siendo} \quad R = \frac{A}{P} \quad (8.5)$$

En donde C = coeficiente de rugosidad del lecho, R el radio hidráulico (que es el cociente A/P) e I la pendiente (CHEZY – EYTELWEIN).

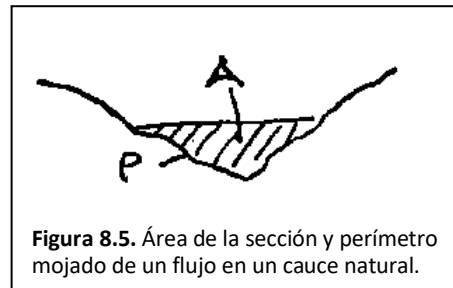


Figura 8.5. Área de la sección y perímetro mojado de un flujo en un cauce natural.

También se puede expresar el área de la sección en función del caudal Q y llevar el resultado de (8,5) a (8.4), para obtener

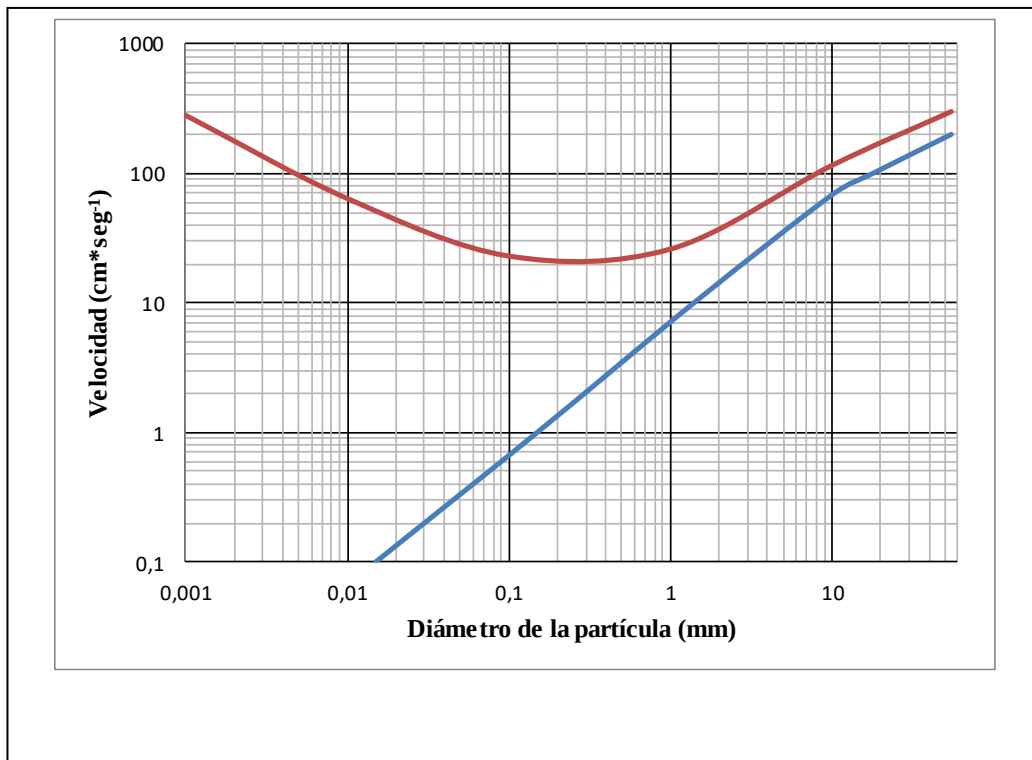
$$v = C\sqrt{\frac{Q}{v \cdot P} I} \quad (8.6) \quad \left(\text{aquí se hizo } R = \frac{\left(\frac{Q}{v}\right)}{P} \right)$$

Transformando (8.6) para despejar v

$$v = \sqrt[3]{\frac{C^2 \cdot Q \cdot A}{P}} \quad (8.7) \quad \left(C = \frac{1}{n}; \quad n = \text{coeficiente de Manning} \right)$$

Con (8.7) queda claro que la velocidad de la corriente no es constante en toda la sección inundada.

La velocidad media de la corriente es tan solo entre $\frac{6}{10}$ a $\frac{8}{10}$ de la velocidad máxima, la que no necesariamente está en el centro de la corriente, sino que oscila pasando de una a otra orilla, y en la vertical se sumerge algo.



8.7 Hidrotecnia y cuenca

El fenómeno torrencial supone caudales sólidos y crecidas repentinas; la carga de sólidos lo hace en suspensión y como acarreo. La carga de acarreo proviene de la erosión del cauce y la carga de suspensión se origina en la erosión de laderas (hídrica).

Pero la corriente transporta acarreo de acuerdo al caudal y éste depende del estado de la cuenca: ambos tienen una relación de causalidad: los caudales altos generan altos volúmenes de acarreo y la erosión del cauce es intensa, y los caudales regulados movilizan bajos volúmenes de sólidos y la erosión del lecho es moderada.

Las obras de ingeniería hidráulica utilizadas en el control de la torrencialidad de una corriente se soportan en la restauración forestal de la cuenca: al incrementar el volumen del follaje, de hojarasca y de plantas herbáceas se estimula la infiltración del agua en el suelo y la retención provisional de las aguas pluviales y de las aguas de escorrentía que acceden a la corriente, y con ellas la regulación hidrológica de la cuenca. Una regulación deficiente trae como consecuencia el secamiento de los ríos en verano y las crecientes severas en inviernos.

8.7.1 Restauración biológica de la cuenca.

La corrección torrencial y el control hidrológico en las laderas son acciones complementarias: ambas están orientadas hacia la estimulación de la vegetación y a la regulación del agua pluvial y de escorrentía en laderas: el incremento de la infiltración y de los tiempos de concentración de las aguas, sugiere acciones de conservación de la vegetación, su mejora y plantación de nuevas plantas. El

establecimiento de vegetación es prioritario y distancia entre plantas y la siembra de especies herbáceas que fortalecen el sotobosque permiten un sistema eficiente en la interceptación y la regulación de las aguas. Se prefieren plantas de morfología variada y portes diversos con niveles arbóreos, arbustivos y herbáceos de plantas nativas que contribuyen el equilibrio ecológico, y cuando se establece la fauna se estimula la sucesión vegetal.

8.7.2 Hidrotécnia y cauce.

La corrección de un cauce torrencial está orientada a controlar procesos de erosión, transporte y depósito de los sólidos del lecho y de las márgenes.

El dinamismo torrencial aparece ligado a la tensión tractiva " τ ", que es aquella que adquiere la corriente para movilizar y transportar acarreos. Está dada por la siguiente relación:

$$t = \gamma_w' R' S \quad (8.8)$$

En donde γ_w es el peso específico de la corriente, R el radio hidráulico y S la pendiente o gradiente hidráulico (línea de energía).

A esa tensión tractiva " τ " se opone el material con su peso, inercia, fricción, etc., generando una resistencia dada por la tensión crítica " τ_0 ":

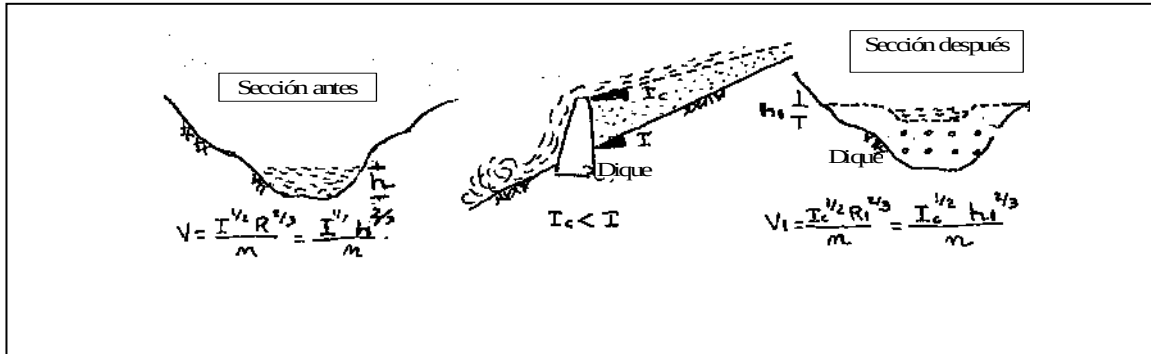
$$t_0 = K' (\gamma_s - \gamma_w)' d_{50} \quad (8.9)$$

En donde K es un coeficiente que se determina experimentalmente y γ_s el peso específico de los materiales acarreados ($\gamma_s - \gamma_w$) es γ' .

La calificación del estado torrencial se hará en secciones homogéneas, comparando τ y τ_0 , es decir, tensión tractiva Vs tensión crítica del contorno. Además $\gamma_w > 1$ cuando la corriente tiene materiales en suspensión.

8.7.3 Control vertical y pendiente de compensación I_c

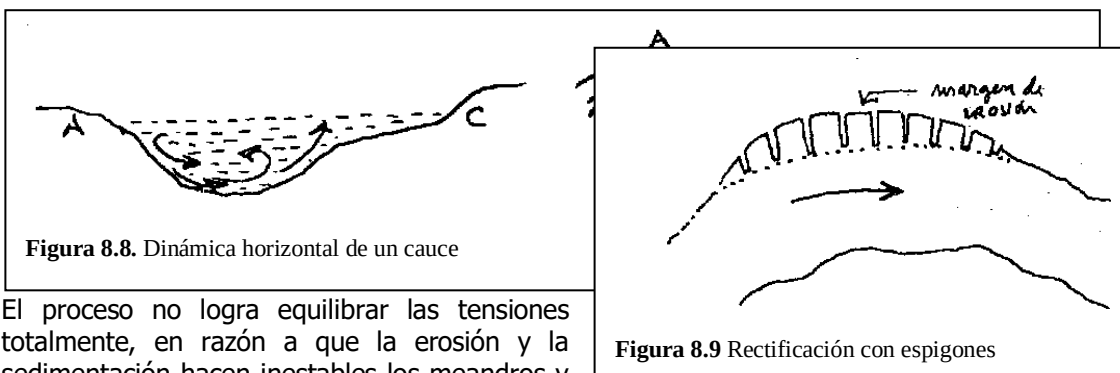
Cuando $\tau > \tau_0$, los lechos se profundizan y los macizos de las márgenes se desestabilizan. Así, las estructuras transversales ofrecen soluciones simples y eficaces. Estas obras forman diques de consolidación, a modo de presas. Sea R el radio hidráulico y n el coeficiente de rugosidad ($1/C$)



8.7.4 Control horizontal

La rectificación del eje hidráulico procede cuando los caudales circundantes adquieren tensiones tractivas que superan las tensiones resistentes del material del contorno.

Tanto la erosión como la sedimentación son comunes en los cuerpos de agua con régimen fluvial y se presentan acentuadas en los tramos donde la fuerza centrífuga que adquiere la corriente en las curvas, excava el lecho externo de la curva del cauce, mientras que la margen interna se sedimenta.



El proceso no logra equilibrar las tensiones totalmente, en razón a que la erosión y la sedimentación hacen inestables los meandros y el cauce migra lateral obligando la ejecución de obras longitudinales para el control horizontal de la corriente.

La protección de márgenes puede lograrse con barreras continuas dotadas de materiales resistentes a la erosión, como muros de hormigón, mampostería hidráulica, muros flexibles de gaviones, o escolleras de materiales de mayor diámetro que el del lecho o mediante plantaciones y recubrimientos vegetales.

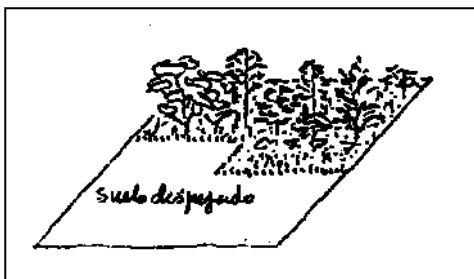
8.7.5 Emplazamiento de obras

Diques de retención. Se emplazan aguas arriba de las áreas que pueden sufrir daños, aprovechando las gargantas estrechas del cauce, aprovechando los ensanchamientos, para construir trampas de sedimentos.

Diques de consolidación. Son obras utilizadas para consolidar las laderas marginales. Se construyen emplazados de tal manera que en la sección transversal media del deslizamiento sea soportada por una cuña de relleno suficiente para contener la ladera.

Espigones. Su longitud L_T es $h \leq L_T \leq B/4$. Si se le da empotramiento en la margen $= 0,25 L_T$. El ángulo con el eje de la corriente $70^\circ - 90^\circ$. Su separación depende del L_T del primero, del ángulo con la orilla de aguas abajo. En curvas, $S_P \leq 8L_T$ y en rectas $S_P \leq 6 L_T$ (medida económica); pero también $5,1L_T \leq S_P \leq 6,3L_T$. Si el riesgo es alto $S_P = 4 L_T$. Deben tener pendiente hacia el río entre 5% - 25% y profundidad suficiente para prevenir su socavación.

Ejercicio 8.1 erosión por cambio de uso del suelo. Se tiene un claro despejado con tractor para un proyecto de ingeniería. a) Discutir los problemas y expectativas de erosión. b) Valore los efectos del proyecto. c) Concluya.



$$A = RK (LS) CP = \text{EROSIÓN} \quad (1)$$

a) Discusión: Los factores R de lluvia y K de erodabilidad del suelo, no cambian por las adecuaciones del lote que se desea construir. Entonces:

$$\text{EROSIÓN} = (LS) CP \quad (2)$$

En la parcela, las condiciones topográficas (LS), el uso del suelo y las prácticas de conservación, serán alteradas. El movimiento de tierra con el tractor modifica la longitud e inclinación de la pendiente y en general, el resultado es que el factor (LS) aumenta. Los cambios en la vegetación también son evaluables (en este caso "C" aumenta), y las condiciones de conservación "P" dependerán del diseño y concepción del proyecto.

b) Valoración del efecto erosivo: con base en (2) (para $P = 1 = \text{constante}$):

Condición	Modificación prevista
(LS) Pendientes antes del modelado 5°	$5^\circ / 9^\circ \Rightarrow LS = 0,56$
(LS) Pendientes luego del modelado 12°	$12^\circ / 9^\circ \Rightarrow LS = 1,34$
C Antes de la tala	$C = 0,2$
C Después de la tala	$C = 1,0$

Aplicando (1) bajo los anteriores presupuestos ($P = 1 = \text{constante}$):

EROSIÓN antes de la construcción: $RK (0,56)(0,2) = 11,3 RK$

EROSIÓN después de la construcción: $RK (1,34)(1,0) = 1,340 RK$

c) Conclusión: La erosión en el lote se incrementará cerca de 12 veces. Se requiere, en consecuencia, incluir medidas para el control de la erosión, haciendo que $P = 0,3 - 0,4$, y logrando que el incremento de la erosión sea sólo de unas 4 veces.

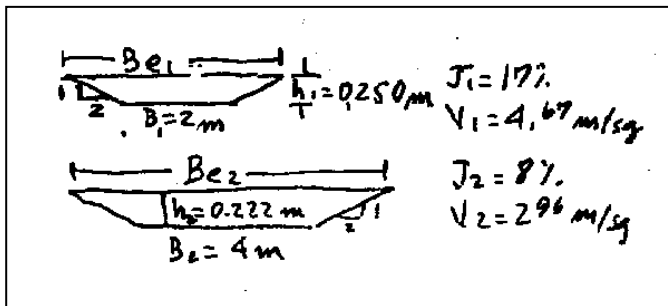
Granulometría

Tamiz	W ret (gr)	% pasa
75	500	83,3
63	550	65,0
50	650	43,3
37,5	450	28,3
28	350	16,6

Ejercicio 8.2. En un cauce erosionado se toman los siguientes datos: Peso específico del fluido $\gamma_f = 1,11$ Ton/m³, altura de la lámina de agua $h_f = 0,25$ m, pendiente del lecho $J_0 = 17\%$, gravedad específica de los sólidos $G_s = 2,65$. Además la granulometría adjunta del material del lecho ($W_T = 3.000$ gr) con su geometría (subíndices y figura E.2) y velocidad V_1 de flujo. Si se hace la corrección con diques de consolidación y establecimiento de vegetación ($\gamma_f = 1,00$ ton/m³) ampliando la sección del cauce (subíndices 2) y rebajando la pendiente al 8%.

Hallar las tensiones tractivas para d_{50} y críticas 1 y 2, y calculas las profundidades de socavación S_1 y

S₂. Analice los cambios hidrotécnicos.



Se tiene $Q = 2,92$ m³/s y $V_2 = 2,96$ m/s

Solución: a) De la granulometría $d_{10} = 4$ mm, $d_{30} = 28$ mm, $d_{50} = 41$ mm, $d_{60} = 45$ mm, $C_u = 11,25$, $C_c = 4,36$.

El rango de interés granulométrico sea del $T = 1 \frac{1}{2}''$ al $T = N^{\circ} 4$.

De consideraciones hidráulicas se han obtenido Q , V_1 , V_2 , K , μ y n .

b) Cálculo de tensión tractiva τ y tensión crítica τ_c ($K = 0,047$)

$$\tau_1 = \gamma_{f1} * h_1 * J_1 = 1,10 * 0,250 * 0,17 = 0,05 \frac{TT}{m^2}$$

$$\tau_2 = \gamma_{f2} * h_2 * J_2 = 1,00 * 0,222 * 0,08 = 0,02 \frac{TT}{m^2}$$

$$\tau_{C1} = K(\gamma_S - \gamma_{f1}) d_{50} = 0,047(2,65 - 1,10) 0,041 = 0,0030 \frac{TT}{m^2}$$

$$\tau_{C2} = K(\gamma_S - \gamma_{f2}) d_{50} = 0,047(2,65 - 1,00) * 0,041 = 0,0032 \frac{TT}{m^2}$$

c) Cálculo del diámetro de equilibrio d_{150} y d_{250} . (La condición es $\tau_c = \tau$, Fórmulas 8.1 y 8.2)

$$\tau_{C1} = \tau_1 \Rightarrow d_{150} = \frac{\tau_{C1}}{K(\gamma_S - \gamma_{f1})} = \frac{0,05}{0,047(2,65 - 1,10)} = 0,68m$$

$$\tau_{C2} = \tau_2 \Rightarrow d_{250} = \frac{\tau_{C2}}{K(\gamma_S - \gamma_{f2})} = \frac{0,02}{0,047(2,65 - 1,00)} = 0,26m$$

En la situación nueva (2) cantos de $\phi > 26$ cm resultan estables. En la situación anterior (1) se movilizaban cantos mayores ($\phi < 69$ cm)

- d) Oferta de la granulometría del cauce. (Diámetro medio, dm , en el rango sugerido de los cinco tamices)

$$\sum d_i = (14 + 20 + 28 + 37,5 + 50) = 149,5mm$$

$$\sum P_i = \frac{\sum W_i}{W_T} = \frac{(150 + 150 + 350 + 450 + 650)}{3000} = 58,3\%$$

$$dm = \frac{\sum d_1 * \sum P_i}{100} = \frac{149,5 * 58,3}{100} = 87,2mm$$

- e) Cálculo de socavación (S_i)

Partimos del tirante H , que es la altura de la columna de agua más la socavación: ($H = h + S$)

$$H = \left[\frac{\alpha * h^{1,667}}{0,68\beta * dm^{0,28}} \right]^{\frac{1}{1+X}}$$

Condiciones iniciales

$$h_1 = 0,250m, B_{e1} = 3m, A_1 = 0,625m^2$$

$$pm_1 = \frac{A_1}{Be_1} = \frac{0,625}{3} = 0,208m$$

$$\alpha_1 = \frac{Q}{pm_1^{1,667} * Be * \mu} = \frac{2,95}{0,208^{1,667} * 3 * 1} = 13,47$$

$$H_1 = \left[\frac{13,47 * 0,250^{1,667}}{0,68 * 1,00 * 87,2^{0,28}} \right]^{0,770} = 0,642m$$

$$S_1 = H_1 - h_1 = 0,642 - 0,250 = 0,392m$$

Condiciones finales

Interpolación para X:

$$X = f(Y)$$

$$\frac{(60 - 40)}{(0,29 - 0,30)} = \frac{18,3}{Y} \Rightarrow Y = 0,009$$

$$\therefore X = 0,298 \Rightarrow \frac{1}{1 + X} = 0,770$$

El valor de X es de tablas

Asumimos: β, μ, n

$\beta = 1,00$ = factor que depende de la probabilidad de Q

$\mu = 1,00$ = Coeficiente de contracción – sin obstáculos

$n = 0,035$. Manning

$$Q = A * V = 2,95 m^3/s$$

$$\text{donde } V = \frac{1}{n} * h^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{2,95}{0,625} = 4,72 m/s$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{2,95}{0,987} = 2,99 m/s$$

$$h_2 = 0,222m, B_{e2} = 4,89m, A_2 = 0,987m^2$$

$$Pm_2 = \frac{A_2}{B_{e2}} = \frac{0,987}{4,89} = 0,202m$$

$$\alpha_2 = \frac{2,95}{0,202^{1,667} * 4,89 * 1} = 8,679$$

$$H_2 = \left[\frac{8,679 * 0,222^{1,667}}{0,68 * 1,00 * 87,2^{0,28}} \right]^{0,770} = 0,393m$$

$$S_2 = H_2 - h_2 = 0,393 - 0,222 = 0,171m$$

Resumen y análisis

	b	T	H	J	τ	τ_c	dm	S	V	Pm
SECCIÓN 1	2	3	0,250	17%	0,05	0,0030	87,2	0,392	4,72	3,12
SECCIÓN 2	4	4,89	0,222	8%	0,02	0,0032	87,2	0,171	2,09	4,99
$\Delta = \frac{F-i}{i} * 100$	+100	+63	-11,2	-59,2	-60	+6,7		-54	-36,6	+56,9

- Disminuye la velocidad porque aumenta el perímetro mojado Pm.
- Disminuye la pendiente J, se amplía B, aumenta τ y disminuye h.
- Se controla la erosión porque disminuye τ y aumenta τ_c .
- La reducción de V y el aumento de Pm explican la menor socavación S.
- Las medidas de reforestación permiten retirar los sólidos de la corriente.
- Con las variaciones en τ y τ_c el cauce toma una nueva configuración. El nuevo d_{50} de equilibrio es menor al dm que ofrece el cauce.
- La erosión del lecho compromete más rápidamente los finos, lo que trae como consecuencia el cambio de la rugosidad.
- La profundidad para la cimentación del dique debe ser superior a $H_2 = 0,392$ m para prevenir su socavación.
- Aguas abajo del dique, se observará un cauce sin finos, con una granulometría gruesa, porque el agua, que ha perdido carga de finos, los tomará aguas abajo del dique.
- Aguas arriba del dique, se observará un excedente de finos, en virtud a un proceso de sedimentación que irá progresando hacia aguas arriba, por el cambio de nivel de base de la corriente.
- El acorazamiento del cauce es el fenómeno con el cual responde la corriente, ya desprovista de finos, aguas abajo. Se trata de un cauce con un lecho de alta rugosidad.

DOCUMENTOS DE COMPLEMENTO ON LINE

Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial. Duque Escobar, Gonzalo; Ortiz Ortiz, Doralice; Vélez Upegui, Jorge Julián Especialización en Geografía. Universidad Nacional de Colombia y Universidad Católica Luis Amigó el 8º Congreso Internacional por el Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente, CIMAD- de la Universidad de Manizales.

Caldas en la biorregión cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2014) Foro "Por la Defensa del Patrimonio Público, las Fuentes de Empleo y el Bienestar de los Caldenses". U. de Caldas

Calentamiento global en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: El Día Mundial del Medio Ambiente, Junio 6 de 2011, IUC

Geomecánica de las laderas de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo; Duque Escobar, Eugenio; Murillo López, Cristina (2009) Foro "Gestión del Riesgo por Inestabilidad de Terrenos en Manizales" Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, 13 de agosto de 2009.

Geotecnia para el trópico andino. Escobar Potes, Carlos Enrique; Duque Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Túnel Manizales. Duque Escobar, Gonzalo; Duque Escobar, Eugenio (2010) Ponencia presentada en el XIII Congreso Colombiano de Geotecnia, Sociedad Colombiana de Geotecnia-U.N. De Colombia. Manizales 2010.

LECTURA 8: EL DESASTRE DE ARMERO POR LA ERUPCIÓN DEL RUIZ

Imagen de portada: Fotografía del Volcán Nevado del Ruiz, por Jaime Duque Escobar <http://en.scientificcommons.org>

HIPÓTESIS PARA EL PREFACIO

Una vez más estas notas para conmemorar una dolorosa fecha como la destrucción de Armero, con la intención de hacer una lectura de la coyuntura previa a la erupción del Ruiz del 13 de noviembre de 1985, de la que se deriven lecciones a partir de las experiencias científicas en torno a un desastre que según mi convicción pudo ser por lo menos mitigado, a pesar de que para entonces el

Estado no contaba con políticas ambientales ni de planificación ligadas a la dimensión de los riesgos, y que nuestra sociedad tampoco había desarrollado esa cultura que demanda la apropiación del territorio buscando su adaptación a las amenazas naturales.

Al estar desprovistos de instrumentos que proveyeran la capacidad efectiva de intervenir, se dejó a su suerte a decenas de miles de pobladores expuestos y en sumo grado vulnerables, sobre un escenario severamente amenazado por una erupción claramente anunciada, y donde las acciones locales y nacionales de los diferentes actores sociales, resultaron asimétricas, fraccionadas e insuficientes.

Si bien ese es el fundamento de la hipótesis que presento, a mi juicio existieron otros factores contribuyentes, cuya intervención pudo desmovilizar o neutralizar de forma oportuna los precarios activos del Estado dispuestos para prevenir la tragedia.

Entre ellos, las ideas que me asaltan, discutibles si se quiere por quedar en el plano de las impresiones, es que pudieron más los intereses locales de quienes preocupados por la economía, reclamaban la “desgalerización” de la ciudad – término ahora aplicado en Pasto frente a las crisis del volcán Galeras-, y la irresponsabilidad de funcionarios claves justificándose en flacas y tardías acciones que desatendieron las oportunas recomendaciones de calificados expertos de UNDRO, para terminar calificando de apocalíptico el clamor de notables líderes locales, entre otros factores que finalmente restringieron al ámbito académico las inequívocas señales del volcán, tales como la cenizada del 11 de septiembre de 1985, además de la información obtenida de la historia eruptiva del volcán y del mapa preliminar de amenazas elaborado un mes antes de los acontecimientos, entre otras tareas así provinieran de un grupo inexperto del que hicimos parte al lado de varios compañeros que hoy faltan, tras haber entregado su vida en acciones científicas al servicio de la sociedad.

En dicha historia, la del volcán, el insigne investigador Jesús Emilio Ramírez S.J. en su obra Historia de los Terremotos de Colombia (1983), describía las erupciones del Ruiz de 1595 y 1845, dando cuenta de sendos flujos de lodo que se esparcen en el valle de salida del Lagunilla, hechos que coincidirán con lo acaecido en 1985, sólo que para entonces no existía la población de Armero, la que fuera fundada en 1895.

Los trabajos de Darrel Herd (1974), sobre vulcanismo y glaciación del complejo volcánico sumados a los de Franco Barberi para la investigación del proyecto geotérmico del cual participé, definitivamente le daban cimientos a las proyecciones del riesgo derivadas del reconocimiento histórico del Padre Ramírez.

Si bien el motivo que nos congrega en cada efemérides es reflexionar para construir como colectivo, mi aporte partirá de lo que ya he consignado hace diez años para similar propósito, en “Las lecciones del volcán del Ruiz a los 20 años del desastre de Armero” (2005), de nuevas reflexiones hechas a partir de la lectura de los desastres naturales que continúan surgiendo en la geografía de nuestro convulsionado país, además de las experiencias ya vividas con la coyuntura volcánica en los dramáticos sucesos de 1985, e incluso las acumuladas desde el año 1979 cuando participaba de las investigaciones del potencial geotérmico del complejo volcánico Ruiz Tolima.

EL ALBA DE LA COYUNTURA



Cráter Arenas del Volcán Nevado del Ruiz. Ingeominas

Para empezar, un poco de historia sobre los antecedentes, correspondiente a un primer período de esas inequívocas señales entregadas por el volcán, el de los meses previos a la erupción freática del 11 de septiembre de 1985, y en especial a la erupción magmática del 13 de noviembre de 1985.

La reactivación del Volcán Nevado del Ruiz se anuncia desde el 22 de diciembre de 1984 con ruidos y sismos locales, olores a azufre y manchas amarillas en la nieve, y las primeras advertencias llegan a Ingeominas iniciando 1985 con las recomendaciones de John Tomblin como responsable de la entonces Oficina de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres -UNDRO-, invitado para el caso a Colombia. Dos meses después se publica la noticia en el diario local La Patria, donde se dan a conocer los hechos, advirtiendo que la actividad de las fumarolas no era motivo de alarma.

El 23 de marzo de 1985 realizamos un seminario abierto y concurrido en el Aula Máxima de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, en el que se informa sobre una reactivación del Volcán, sus erupciones históricas y los riesgos, y los posibles eventos esperados frente a una erupción.

Todo esto se consigna en el Boletín de Vías y Transportes N°53, donde se publica el resultado de una labor científica previa adelantada en el volcán por nuestro grupo de trabajo, compuesto por expertos voluntarios, profesores de las universidades Nacional y de Caldas, y miembros del Departamento de Geotermia de la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC, labor cuyo propósito era mapear el cráter activo, describir la actividad fumarólica, generar una información adecuada para dar respuesta a las crecientes inquietudes de la comunidad y sugerir lo que fuera del caso.

En mayo se recibe la visita del científico Minard Hall como delegado de UNDRO, quien reclama de nuevo la atención a las anteriores recomendaciones de dicha organización, expresa su preocupación por la persistente actividad del Ruiz, y de paso señala la necesidad de acometer una gestión para la atención oportuna del riesgo priorizando las zonas habitadas, tras mostrarnos en el lugar el potencial de flujos de lodo del edificio volcánico, asociado a la presencia de los glaciares y materiales de arrastre disponibles.

En julio, cuando ya se empieza a percibir el olor a azufre en Manizales, luego de intentar infructuosamente durante los meses precedentes obtener unos sismógrafos para iniciar el monitoreo del Volcán, y de haber recurrido al Cuerpo Suizo de Socorro para conseguirlos por otra

vía gracias a una gestión iniciada por Hans Meyer, se establece Ingeominas aportando los cuatro sismógrafos y justificando su tardanza en la dificultad que tuvo para conseguir las piezas de repuesto; el hecho en sí y la precaria justificación permiten mostrar la importancia que se le daba al asunto en Bogotá.

En agosto llega el científico Bruno Martinelli como respuesta del Cuerpo Suizo de Socorro a una solicitud del Gobernador de Caldas y del alcalde de Manizales, tras un mes de preparativos en el cual se decidió desarrollar la tecnología buscando adaptar los sismógrafos para operar en ambientes a temperaturas bajo cero grados, lo que suponía hacer uso de la electrónica militar. Indudablemente estos meses perdidos al lado de la inexperiencia que nos asistía, será una de las causas más relevantes en el trágico desenlace de los acontecimientos.

Para información de ustedes, varios de los que actuábamos éramos de algún modo parte del equipo organizado desde 1979 por Ariel César Echeverri, con la misión de investigar el potencial geotérmico del Ruiz; la mayoría ingenieros con 500 horas de instrucción en Geofísica entre los años 1983 y 1984 impartida por eminentes profesores de las escuelas italianas de Nápoles y Pisa, y dos entre los miembros del grupo, con estudios en Geotermia. Del equipo hacíamos parte entre otros, Néstor García Parra QEPD, la geóloga Marta Lucía Calvache y Bernardo Salazar Arango como miembros del Departamento de Geotermia de la CHEC, además del grupo de geoquímica de aguas termales de la Universidad Nacional liderado por la Profesora Adela Londoño Carvajal.

LUCES Y SOMBRAS DE LA TRAGEDIA



Extensión espacial de los eventos del V. N. del Ruiz en 1985. Fuente: www.tulane.edu

Estando presto a salir Bruno Martinelli para Suiza quien un mes antes había cambiado un volcán de África, el Niragongo, por el Ruiz, este geofísico de enorme dimensión humana debió esperar para la evaluación de la información sismológica recogida en los entornos del antiguo refugio del Ruiz donde se hospedaba, porque al medio día de ese 11 de septiembre se produce una erupción freática en el cráter Arenas, cuyas cenizas llegan a Manizales para despejar las dudas de los más escépticos.

Confieso que, si bien desde 1979 estábamos investigando el tema de los volcanes, el evento nos llevó a esa extraña dimensión que señala Lévi Strauss en Tristes Trópicos, porque frente a semejante fenómeno estábamos como quien cree saber de un extraño lugar porque colecciona sus imágenes, al que no ha viajado para sentir su compleja naturaleza y experimentar su carácter.

Esta erupción temprana y desconocida que se hace sentir en la ciudad y genera pequeños flujos de lodo que cierran la vía a Murillo, le da la connotación suprarregional al riesgo, y sobre todo detona la ya aplazada confección del mapa de amenazas del Ruiz. De lo ocurrido en ella, a finales de ese mes el equipo de Ingeominas pudo establecer, no sólo la velocidad del pequeño flujo de lodo, sino también la certeza de su ocurrencia en caso de una erupción mayor, dato importante para estimar el tiempo disponible para evacuar a Armero.

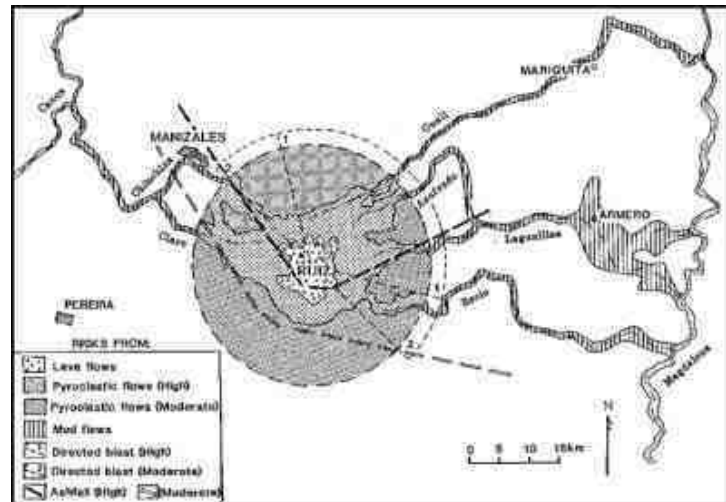
Igualmente, Ingeominas informa de un represamiento del Lagunillas en la vereda El Cirpe, consecuencia de actividades mineras, un elemento aislado pero fundamental porque vinculará al imaginario de esos pobladores la amenaza temida con la suerte de Armero, así la magnitud de tal represamiento con tan solo 200.000 m³ no compitiera en tamaño y alcance espacial con los voluminosos lahares históricos.

Tras el evento, se crea el Comité de Estudios Vulcanológicos de la Comunidad Caldense, bajo la coordinación de Pablo Medina Jaramillo con la secretaría científica de José Fernando Escobar Escobar como coordinador de Ficducal, fundación que reunía a las cinco universidades de Manizales y cuyas actas juiciosamente recolectadas dan testimonio de las actividades y esfuerzos de diferentes instituciones y autoridades de la ciudad, buscando darle buen trámite a una preocupante crisis que no encontraba el eco esperado en el gobierno nacional. Como ilustración: cuatro meses antes de la catástrofe aparece la famosa carta de la jefe de la Oficina de Relaciones Internacionales del Ministerio de Educación, ofreciendo su mediación al gobernador de Caldas para que se le solicite por ese conducto a la Unesco “evitar que el volcán del Ruiz se reactive”.

A finales de septiembre, además del histórico debate del parlamentario caldense Hernando Arango Monedero, calificado de apocalíptico en una respuesta del Ministerio que justifica con un pálido balance sus acciones insustanciales, el citado Comité que también recibe las advertencias de UNDRO sobre la posible ocurrencia de flujos de lodo por el río Chinchiná, entre otros eventos de menor relevancia para Manizales, conoce del Censo efectuado por Corpocaldas a lo largo del drenaje de sus tributarios, y revisa una carta del Gobernador de Caldas para solicitarle al gobierno central acciones para atender la problemática. En ese estado de cosas, recuerdo haber solicitado incluir en ella tareas de preparación para la comunidad expuesta en las zonas de alto riesgo y llamar la atención al gobierno para proveer lo que se requiriera para atender los evacuados, incluyendo entre ellos los que moran dentro de un radio de 10 Km y los pobladores de Armero, además de los censados.

Para entonces, los temidos tremores del volcán identificados finalmente por Martinelli y reportados ahora por el equipo de sismología, a juicio de éste resultaban preocupantes; la columna de vapor alcanzaba alturas sostenidas que superaban los 10 km, y se implementaban estrategias informativas que hacían uso del manual de UNDRO para el debido manejo de las emergencias volcánicas. Además, la ya visible exacerbación de la actividad fumarólica era interpretada por nuestro grupo de geoquímica, como evidencia de que se empezaban a generar los efectos decisivos previstos por W. Giggembach sobre el tapón del cráter Arenas, y con ellos una posible reducción en la presión del sistema que conduciría a la erupción.

EL ESTADO DE LA PREVISIÓN



Versión preliminar del mapa de amenazas. Ingeominas y U. de C.

Entrado octubre, aunque en tan corto tiempo son notables los avances alcanzados en la confección del mapa de riesgos encomendado al equipo de geólogos de Ingeominas y de la Universidad de Caldas, y por la implementación del modelo metodológico y teórico propuesto por el Neozelandés W. Giggembach, útil para la evaluación de la dinámica pre-eruptiva en función de la volatilidad variable de los componentes gaseosos de los fluidos volcánicos – según su composición dependiese de carbono, azufre o cloro –, entre otros logros, también faltaba monitorear la topografía del edificio volcánico para advertir las posibles deformaciones causadas por incrementos en el campo de esfuerzos de darse el ascenso del magma.

Entonces se concretan gestiones en el Comité para satisfacer las deficiencias e incertidumbres sobre un proceso urgido de complementos instrumentales y conceptuales, como son traer hasta Manizales a Franco Barberi desde Italia, a Rodolfo Van der Laat desde Costa Rica y a Minard Hall desde Ecuador. Esto se logra, al igual que la traída de Darrel Herd del Servicio Geológico de EE UU, quien en concurrida conferencia en el Teatro 8 de Junio de la Universidad de Caldas desestima la ocurrencia de un desastre en caso de erupción, a pesar de haber señalado en el Comité la importancia de las tareas que hacíamos en virtud del riesgo existente.

Iniciando la segunda semana de octubre, aparece la versión preliminar del Mapa de Riesgos Potenciales del Volcán Nevado del Ruiz, donde además de consignarse la historia del Volcán se señalan las amenazas, entre las que se incluyen: riadas gasopiroclásticas a alta temperatura de alguna severidad con una probabilidad de 2/3 y alcance hasta los 20 km; flujos de lodo de hasta medio centenar de metros de potencia dependiendo del nivel de riesgo de las zonas, asignándoles una probabilidad del 100% en caso de erupción importante, riadas que alcanzaban en dicha cartografía todas las zonas que efectivamente se bañaron de lahares, entre ellas Armero; y también caída de cenizas con igual probabilidad extendiéndose solamente sobre una zona orientada hacia el noreste del cráter, y que por lo tanto excluía de caída de estos piroclastos transportados por el aire a sectores del occidente, omisión para la que sugerimos considerar esa posibilidad por el cambio de la dirección de los vientos regionales entre el verano y el invierno relacionado con la dinámica del clima bimodal andino, lo que se comprobaba con las cenizas del 11 de septiembre anterior y las que alcanzaron a Cartago en 1595.

Aunque hubo discrepancias sobre las características de los flujos piroclásticos, relacionadas no solamente con la distribución y alcance de los eventos, sino también con la inclusión de una erupción dirigida de ángulo bajo o blast, inclusión soportada en un depósito asociado a una

erupción de alta energía que se observa sobre el talud de la vía a Murillo, por ser a nuestro juicio un evento poco probable que ameritaría otro tipo de manejo, siempre se consideró probable una erupción de entre 1 y 2 km³, con una columna eruptiva vertical y no de colapso, dado el coeficiente explosivo de nivel moderado bajo del magma andesítico del Ruiz, a diferencia de lo que puede esperarse de uno dacítico de nivel moderado alto como el de Cerro Bravo o el Huila, donde la columna eruptiva típica es de colapso, y por lo tanto con nubes ardientes de mayor alcance.

Entre tanto mientras las labores del monitoreo rudimentario continuaban, seguíamos confiados en que a falta de un sistema telemétrico el volcán se anunciaría a distancia y en que uno de nuestros miembros que permanecía en el lugar: el Ingeniero Bernardo Salazar Arango, exponiendo su vida para observar los sismógrafos allá, informaría en tiempo real por radio sobre cualquier evento de carácter sorpresivo: ambos, volcán y hombre, cumplieron a cabalidad, pero la última señal no fue suficientemente interpretada, como tampoco las que ya había dado el volcán anticipadamente desde horas de la tarde.

Hasta aquí la corta extensión espacial y temporal del monitoreo sísmológico y geoquímico, donde gravitaba la falta de observaciones de otras variables físicas, como las deformaciones que dependían de medidas geodésicas no implementadas, y de unas observaciones morfológicas, que al no ser sistemáticas a causa de las dificultades y condiciones ambientales, resultaban insuficientes: todo este acerbo impedía generar una línea base para el volcán, necesaria como instrumento para un diagnóstico adecuado y con suficiente aproximación, para calificar el grado de anormalidad de los fenómenos observados.

Recuerdo cómo un día antes de la erupción, el grupo de geotermia descendió una vez más y por última vez al fondo del cráter Arenas, para tomar otra muestra de los gases intentando capturarlos en las fumarolas antes de que emergieran y entraran en contacto con la humedad del aire, para malograrse. En esta riesgosa expedición que incluía la tarea adicional de observar las eventuales dinámicas morfológicas, no se reportaron cambios significativos del cráter.

Pero al día siguiente, el de la erupción del 13, siendo las 7:30 PM cuando procedíamos a dar inicio al análisis geoquímico en el Laboratorio de la Universidad Nacional, observábamos las muestras obtenidas, con un aspecto turbio inquietante, asunto éste que sumado a los eventos preeruptivos del día, permite calificar la imposibilidad que teníamos de aventurar un pronóstico.

NOCHE DE MUERTE Y DESTRUCCIÓN



Armero 1985. armeroguayabal-tolima.gov.co

Y a los pocos días de haber concluido la elaboración del mapa de amenazas, a pesar de la caída de cenizas que desde horas de la tarde afectaba a Armero, de las llamadas al cuerpo de bomberos de la "Ciudad blanca" efectuada desde uno de los municipios cordilleranos, de haberse informado el inicio de la erupción por la doble vía que se esperaba: la del volcán y la del hombre, los flujos de lodo estimados después en 100 millones de metros cúbicos, que descendieron raudos desde los glaciares del volcán nevado por las dos vertientes cordilleranas, avanzaron arrasándolo todo hasta alcanzar los poblados ubicados en los valles de salida de los ríos, pero la población no fue evacuada.

Por la vertiente del Cauca las riadas de lodo tardaron más de una hora hasta río Claro y parte de Chinchiná, y por la del Magdalena unas dos horas hasta Armero, transitando por la cuenca del Lagunillas, y dos horas hasta las partes bajas de Mariquita primero, para seguir luego a Honda por el Gualí. En Armero los lahares, masas donde participaron agua y sólidos casi por mitades, cubrieron con 2 m de lodos unos 30 km² del valle, en varias direcciones incluida la del río Sabandija por el norte, ajena a este drenaje.

Y como me he preguntado ahora: ¿por qué antes del 13 de noviembre no se produjo ninguna acción ante la advertencia expresa de que, en caso de una erupción, Armero sería borrado por una avalancha? – esto de conformidad con lo que el mapa oficial mostraba desde su primera versión de inicios de octubre, así fuese preliminar -.

Posiblemente el trabajo que emprendimos a la fecha fue tomado como un simple ejercicio académico, o también la sistemática preocupación por la información que se daba en la prensa, dudosamente calificada de alarmista, terminó con sus voces por apagar las luces de sensibles periodistas, y por dismantelar una estrategia que pudo contribuir a la necesaria apropiación social del territorio para lograr la prevención del desastre.

Calificados expertos de varios países, después de recopilar la información sobre los antecedentes y analizar los hechos, coincidieron en denominar lo ocurrido como "una catástrofe anunciada", mientras aquí unos y otros rompían sus vestiduras amparados en la imposibilidad de predecir el comportamiento de un volcán, para decir que la suerte padecida por unos 25.000 colombianos fue culpa de la indómita naturaleza y olvidando de paso que los desastres no son naturales, así lo sean los eventos que los generan. La erupción de 1595, tiene como antecedentes de importancia para estimar la duración de las fases preeruptivas del Ruiz, que la identificación del volcán por los conquistadores, se hizo varias decenas de años antes del paroxismo: hacia 1540 en crónicas desde Anserma y Cartago y hacia 1553 en un mapa desde Victoria Caldas y Mariquita.

En comparación con los eventos históricos del Ruiz acaecidos en 1595 y 1845, la segunda entre las tres erupciones históricas parece haber generado los mayores flujos de lodo, y la de 1985 no solo fue la de los lahares más modestos sino también la erupción de menor magnitud por volumen de lava erupcionado. Si por volumen la erupción del 19 de febrero de 1845, con unos dos km³ acumulados y vertidos tras 250 años de calma volcánica, pudo duplicar el volumen erupcionado en 1595, para la actual erupción después de 140 años de calma, el volcán podría disponer de al menos 1 km³ de magma, dado que lo se ha vertido ha sido solo una fracción de dicha unidad.

Respecto a la erupción de 1845, esto: la gran extensión de la fase de calma que le antecede, el tipo y característica de la erupción, al tratarse de un evento de mayor volumen, pero orientado y sin columna vertical notable, sumado a que el volcán no se anuncia con una actividad preeruptiva visible a distancia desde principios del siglo XIX, son hechos que permitirían inferir un taponamiento del cráter por aquella época, situación que no ocurre ahora donde el conducto del cráter Arenas funciona adecuadamente según lo ocurrido en el Ruiz desde 1985.

En cuanto a los ambientes glaciares, mientras las dos primeras erupciones citadas se dieron durante una pequeña glaciación ocurrida entre 1550 y 1850, con picos fríos en 1650, 1770 y 1850, lo que se explica por una baja actividad solar, habrá que tener en cuenta el actual deshielo, donde los 29 km del manto de hielo del PNNN existente en 1979 se han reducido casi cuatro veces, como consecuencia del calentamiento global, fenómeno global donde inciden factores antrópicos (emisión de gases de invernadero y deforestación) y causas naturales (el incremento actual de la actividad solar). Además, si bien la erupción de 1985 fue calificada de subpliniana o de nivel 3, al haber cobrado unas 25.000 víctimas mortales queda la lección para no subestimar estos eventos, dado que la del Ruiz (1985) con apenas 1/10 de km³ de magma vertido hasta ahora, por el número de vidas cobradas se ubica en el tercer lugar entre los desastres volcánicos más catastróficos del siglo XX, después del Tambora (1915) con 56.000 y del Krakatoa (1883) con 36.400 víctimas.

Esto es, hace 30 años a pesar del compromiso de la comunidad científica que asumió tareas, del esfuerzo de la Cruz Roja y de la Defensa Civil locales en materia de prevención, queda pendiente pagar un saldo que únicamente se liquida sin volver a repetir la tragedia de Armero. Y lo digo porque antes de la erupción del 13 de noviembre de 1985, previo al paroxismo de las 9:20 de la noche hora local, desde las 3:05 de la tarde hubo emisiones de ceniza, y antes del anochecer a modo de señal premonitoria la arena volcánica y fragmentos de pómez caían sobre el poblado tolimense, en un ambiente enrarecido por un extraño olor azufrado.

Todo, porque allí como en otros lugares se carecía de una instrucción precisa, de unos medios mínimos y de unos procesos previos de preparación adecuados, para que la población evacuara frente a un evento sorpresivo, el que también daba tiempo al menos para mitigar la desgracia. Esto es, la insuficiencia de la información gravitó, ya que no resultó suficiente la historia y que el mapa no se socializó; también faltaron las instrucciones y el protocolo para evacuar, señalando el por qué, cuándo, cómo y a dónde ir, por lo menos, e incluso, los simulacros del caso como parte de la información intangible.

EPÍLOGO



Armero antes y después del desastre, en <http://historico.unperiodico.unal.edu.co>

Armero, antes y después del desastre, en UN-Periódico

Luego de los sucesos de Armero, cuando se dan las frecuentes noticias sobre las crisis en los volcanes Galeras, Huila y Cerro Machín, además de las del Ruiz, no dejamos de preocuparnos a pesar de saber que nuestros científicos de Ingeominas están altamente capacitados, que se hayan hecho estudios sobre el riesgo, y que se tienen mapas de amenaza y un eficiente sistema de monitoreo.

Esto porque a pesar de la existencia de un Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres que ha hecho grandes esfuerzos, se ha consolidado y reestructurado, siempre quedan como preguntas: ¿por qué las personas no evacúan y qué falta en términos tangibles e intangibles?

Como evidencia de lo primero, antes del terremoto del Quindío, el Comité Local de Emergencias del pequeño municipio de Pijao, epicentro del sismo, no sólo se reunía periódicamente y producía sus actas, sino que contaba con presupuesto y tomaba sus propias decisiones, tal cual lo hizo el 25 de enero de 1999 y días siguientes, a pesar de quedar incomunicado el poblado y desarticulada su comunidad del contexto regional y nacional.

También, porque lo de haber “galerizado a Armero”, posiblemente habría salvado a muchos armeritas de la hecatombe, del mismo modo que lo han hecho las comunidades indígenas de Belalcazar, Inza, Tesalia y otros asentamientos menores de Huila y Cauca en Abril de 2007, cuando tras las erupciones del Volcán Nevado del Huila se generaron lahares que llegaron al Magdalena, arrasando a su paso cultivos, vías y puentes por el cañón del río Páez, donde unos 5.000 habitantes riverseños expuestos a las avalanchas, previamente habían evacuado a zonas seguras.

La “galerización”, término extraño para entonces y para quienes no saben del Galeras, refuerza la dialéctica del discurso como herramienta estratégica para entender la problemática que existe en Pasto, donde se repite lo que se hizo en Manizales cuando se desdibujó una estrategia comunicativa, con expresiones como “aquí todos éramos vulcanólogos” cuya perversa intención era detener el proceso de aprendizaje popular, en beneficio del mercado.

La dimensión social, política, cultural y económica de los desastres en Colombia, podría darnos esas respuestas que espero no se resuelvan con nuevos acontecimientos como los que se han vivido fruto de la imprevisión, por no comprender la naturaleza socioambiental de los conflictos en la construcción social del territorio, como lo ha sido el del proceso que explica el desastre de Armero.

Con las leyes de la Cultura, del nuevo Sistema Ambiental y de la Reforma Urbana, y en particular con la nueva Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, la LOOT, que pasa del enfoque municipal al de regiones y asociaciones de municipios, contemplando aspectos estructurales como la gestión integral del riesgo y el manejo responsable del medio ambiente, hoy se contempla la dimensión de los desastres y se consagra el derecho de la participación ciudadana; pero urge implementar la gestión del riesgo, primero, asegurando las acciones misionales de institutos como el Ingeominas, hoy Servicio Geológico de Colombia, y las de complemento de las autoridades ambientales; segundo, avanzando con los procesos de ordenamiento del territorio previendo los usos conflictivos del suelo; y tercero, fortaleciendo los procesos pedagógicos de apropiación social soportados en la participación comunitaria y de la sociedad civil.

Al respecto, mientras la Previsión a corto plazo que se relaciona con los procesos geodinámicos y afines, incluye las tareas de observación sistemática de variables físicas y el desarrollo de modelos, tal cual lo hace ahora el Observatorio Vulcanológico de Manizales, para la Previsión general que se materializa en mapas de amenaza para estudiar los riesgos naturales y asegurar el uso sostenible del suelo, en materia de cartografía y de acciones de las autoridades territoriales, aún encontramos profundas deficiencias, al igual que en los procesos del ordenamiento del territorio por no ser concebidos con enfoques del orden socioambiental.

Esta loable y muy difícil labor para el caso de los volcanes activos, la han desarrollado oportunamente los científicos de Ingeominas en los tres segmentos de los Andes colombianos; pero en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, y de ordenamiento ambiental de cuencas, sabemos hoy se obliga a contemplar la dimensión regional y a aplicar los mapas de amenaza durante los extensos períodos de calma sísmica y volcánica, para proceder con una ocupación no

conflictiva del suelo en términos de exposición a la amenaza y mitigación de riesgos de esta naturaleza.

Me temo que, con una visión de corto plazo y la baja propensión a las acciones estructurales señaladas, estaremos desaprovechando el esfuerzo de muchas instituciones del país, como la de nuestros observatorios vulcanológicos y sismológicos que han perdido algunos de sus miembros, comprometiendo la suerte de la Nación y exponiendo a varias comunidades vulnerables de Colombia en lugares donde el riesgo no resulta racionalmente mitigable.

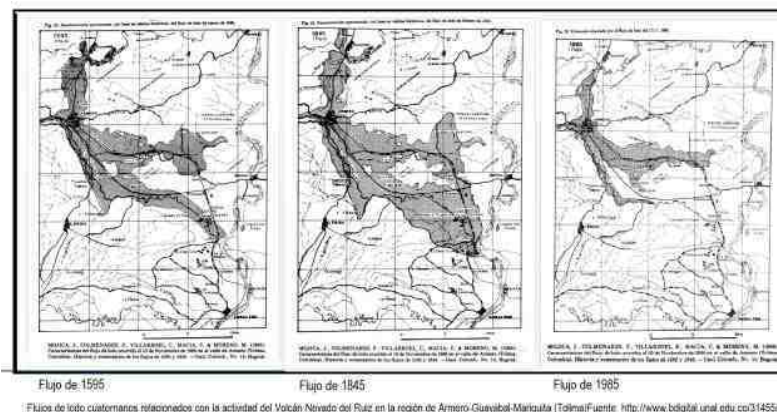
Manizales, noviembre 11 de 2015.

Documento preparado para la conmemoración del trigésimo aniversario de la tragedia, en el Contexto de CT&S, de la UN de Colombia, Sede Manizales.

.ENLACES U.N.

Amenazas naturales en los Andes de Colombia. Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat. El volcán y el desastre de Armero. Cumanday, ¿el león dormido? El Ruiz, amerita medidas de prevención y no pánico. El desastre en el río Mira. El siniestro de Mocoa, designio de la imprevisión. Gestión ambiental del riesgo en el territorio.	Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Gestión del Riesgo por Sismos, Volcanes y Laderas. Haití sin resiliencia para el desastre. Hidro-Ituango: una lectura a la crisis Huracán Iota: tifón que abate a San Andrés. Huracanes y terremotos acechan. Llega el invierno, ¿pero la vulnerabilidad qué?	No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes. Por falta de bosques con el agua al cuello. Riesgo sísmico: los terremotos. Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. Sismo, bahareque y laderas. Sistema solar) – PDF (Capítulo 3 Manualgeo). Vulcanismo) - PDF (Capítulo 6 Manualgeo).

IMÁGEN DE COMPLEMENTO:



Lahares asociados al V. N. del Ruiz, de 1595, 1845 y 1985, en Armero. Mojica, Jairo and Brieva, Jorge and Villarroel, Carlos and Colmenares, Fabio and Moreno, Manuel (2012). Imagen adaptada. <http://www.bdigital.unal.edu.co/31455/>

CAPÍTULO 9

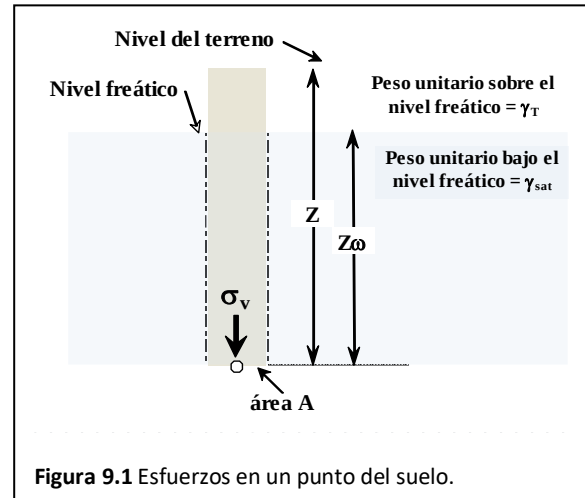
CONSOLIDACIÓN DE SUELOS

La compresión que sufre un suelo se debe a la disminución del volumen de los poros, ya que las partículas se asumen incompresibles o de efecto despreciable. En suelos saturados la compresión ocurre solamente si se presenta drenaje de agua.

La compresión gradual de un suelo por efecto de los esfuerzos originados por la presión que ejercen las estructuras superpuestas, recibe el nombre de consolidación.

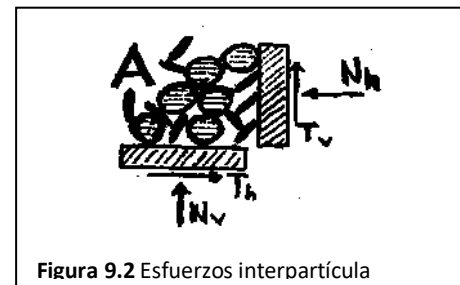
9.1 Principio de esfuerzo efectivo

Perpendicular a un plano cualquiera (oblicuo o no), que pase por el elemento A del terreno, existe un esfuerzo total (σ) y una presión intersticial o de poros (U), a una profundidad (Z). Ahora, el esfuerzo efectivo (σ') se define como el valor de la diferencia entre el esfuerzo total (σ) y la presión de poro (p.p.) (U).

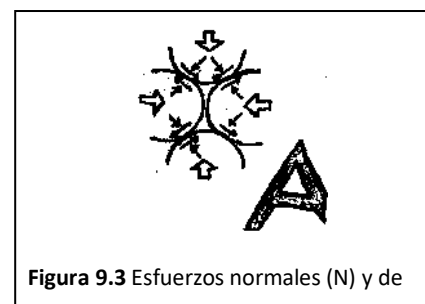


En la masa de suelo saturada se presenta una reacción por los esfuerzos que soporta el esqueleto mineral (σ'), que actúan interpartícula, y los esfuerzos por la presión de poro (U) dentro del fluido intersticial que ocupa los poros. La suma de ambos es igual al esfuerzo total (σ).

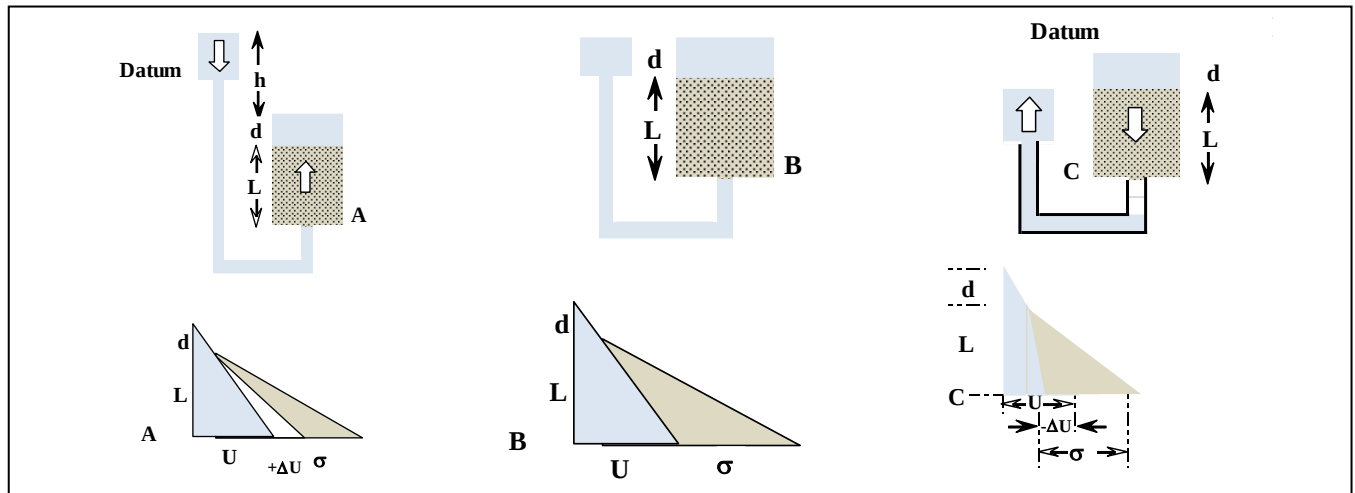
En las caras del elemento A, de área a^2 , las partículas de suelo ejercen fuerzas en dirección normal y tangencial, N y T , como se muestra en la figura. Los esfuerzos serán, en ambas caras:



Si se carga el terreno, toda la masa de suelo será afectada. El agua recibirá las nuevas fuerzas y empezará a fluir, los esfuerzos serán transferidos, poco a poco, del agua al esqueleto mineral, y cuando se presente el drenaje total del suelo, habrá disminuido U y aumentado σ' .



VARIACIONES DE LOS ESFUERZOS EFECTIVOS (σ') POR FLUJO DEL AGUA



Aumenta U en ΔU

$$U = \gamma_w (L + d)$$

Disminuye U en ΔU

Disminuye σ' en ΔU

$$\sigma' = \gamma' * L$$

Aumenta σ' en ΔU

$$\sigma' = (\gamma_{SAT} - \gamma_w) L$$

$$\Delta U = +\gamma_w h$$

$$\sigma = \gamma_{SAT} * L + \gamma_w d$$

$$\Delta U = -\gamma_w h$$

$$\sigma = \gamma_{SAT} * L + \gamma_w * d$$

$$\sigma = \gamma_{SAT} L + \gamma_w d$$

Con flujo ascendente (A)				Sin flujo (B)				Con flujo descendente (C)			
PTO	CE	CP	CT	PTO	CE	CP	CT	PTO	CE	CP	CT
A	-d	d	0	B	-d	d	0	c	-d	h	h - d
A	-d - L	L + d + h	h	B	-d - L	d + L	0	C	-d - L	L	-d
$P_A - P_a = +h$				$P_B - P_b = 0$				$P_C - P_c = -h$			
ESFUERZOS en A				ESFUERZOS en B				ESFUERZOS en C			
$U_A = (d + L + h)\gamma_w$				$U_B = (d + L)\gamma_w$				$U_C = (d + L - h)\gamma_w$			
$\sigma' = \gamma' L - \gamma_w h$				$\sigma' = \gamma' L$				$\sigma' = \gamma' L + \gamma_w h$			
Δ ESFUERZOS en 1				Δ ESFUERZOS en 2				Δ ESFUERZOS en 3			
$+ \Delta U = -\Delta \sigma' = -i * Z * \gamma_w$				$\Delta U = \Delta \sigma' = 0$				$- \Delta U = +\Delta \sigma' = +i * Z * \gamma_w$			

9.2 Analogía del pistón con orificio estrecho.

El esqueleto mineral se puede asociar con un resorte o muelle que se comprime por las cargas aplicadas al terreno: conforme al agua sale por el orificio estrecho del pistón, el muelle se deforma; los esfuerzos, antes soportados por el agua, los soporta ahora el muelle:

Si $P = M + W$ también $\sigma = \sigma' + U$, donde:

σ = Presión total o esfuerzo total.

σ' = Presión intergranular o esfuerzo efectivo.

U = Presión de poros o esfuerzo neutro (p.p.)

9.3 Presión de percolación. (P_c).

Es la presión generada por el flujo al interior del suelo. Su valor es, en flujo vertical, $P_c = i \cdot Z \cdot \gamma_w$. Vectorialmente, la fuerza de filtración es $\vec{J} = i \times \gamma_w$, donde i es el gradiente hidráulico, y su dirección, la de las líneas de corriente.

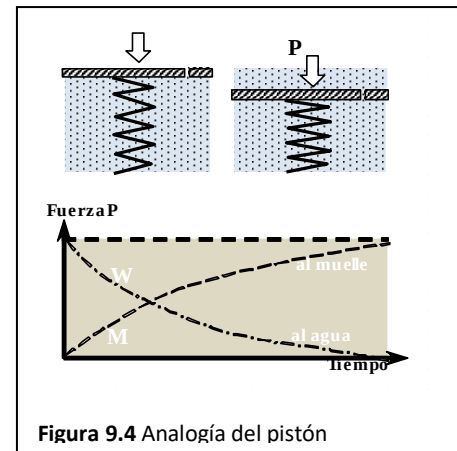
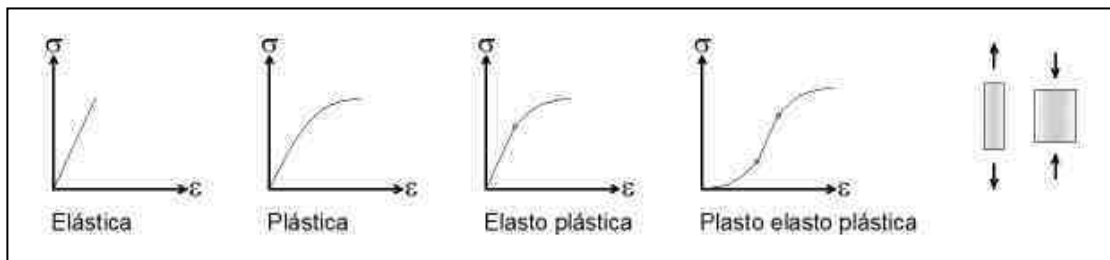


Figura 9.4 Analogía del pistón

9.4 Deformaciones en el suelo (σ = esfuerzo; ε = deformación)

Un suelo puede presentar deformaciones permanentes o no por causa de las cargas que soporta. Las deformaciones pueden ser:



9.4.1 Deformación elástica: El suelo puede recobrar su forma y dimensiones originales, cuando cesa la fuerza de deformación.

9.4.2 Deformación plástica: se da corrimiento de la masa del suelo, pero la relación de vacíos permanece más o menos constante. Al retirar las cargas el suelo queda deformado, pero su volumen casi se mantiene.

9.4.3 Deformación compresiva: En este caso se presenta deformación en el suelo sometido a carga, y esta se conserva después de esa acción. Esta deformación puede ser por *CONSOLIDACIÓN* o por *COMPACTACIÓN*.

a) Consolidación: Es la reducción gradual de volumen del suelo por compresión debido a la aplicación de cargas estáticas. También puede darse por pérdida de aire o agua, o por un reajuste de la fábrica textural.

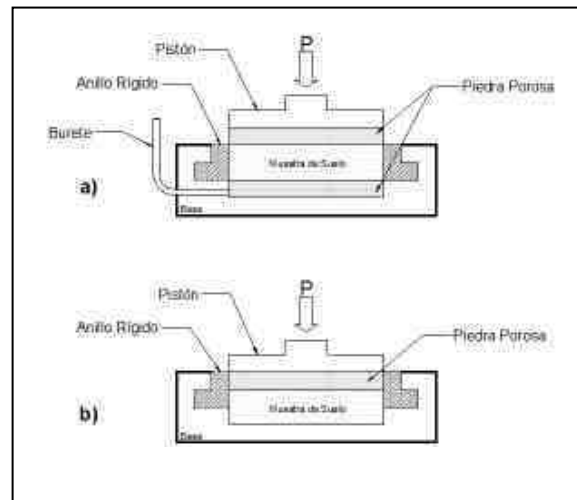
b) Compactación: Es la densificación del suelo, lograda por medios dinámicos, con el propósito de mejorar sus propiedades ingenieriles.

9.4.4 Clases de consolidación. Puede ser PRIMARIA o SECUNDARIA. Primaria, cuando cargado el suelo, la reducción de volumen se debe a la expulsión del agua, fenómeno en el que se transfiere la carga soportada por el agua al esqueleto mineral, esta es la consolidación propiamente dicha, típica del caso de los suelos de Ciudad de México y de la Torre de Pisa, y con la que nace la Mecánica de Suelos (Terzaghi, 1925). Secundaria, cuando la consolidación se da por reajuste del esqueleto mineral y luego de que la carga está casi toda soportada por este y no por el agua.

EDÓMETRO o consolidómetro

Es un aparato de laboratorio útil para conocer la compresibilidad de un suelo que va a ser objeto de un proceso de consolidación. La muestra inalterada es un suelo tomado en campo y cortado con cuidado para obtener una probeta, que quede ajustada al diámetro del anillo interior, y con altura de una pulgada. Es por eso que el ensayo se realiza en condiciones de compresión confinada, con una muestra saturada.

Al aplicar la carga, el agua se evacúa por dos piedras porosas: una superior y otra inferior. La carga aplicada en el ensayo es incremental. En el ensayo se realiza el registro de las deformaciones (en el extensómetro) contra el tiempo. Otros valores que se registran y se calculan en el ensayo son la carga y la relación de vacíos.



Las cargas se van doblando cada vez y los incrementos se hacen cada 24 horas. Finalmente, la descarga se hace gradual.

Cada carga permanece constante sobre la muestra un tiempo conveniente, para lograr la consolidación completa bajo dicha carga. Se estima que en un tiempo mínimo de 24 horas se logra esta condición; transcurrido el tiempo se aplica una nueva carga, siguiendo una relación geométrica con la anterior.

Se acostumbra aplicar una serie de 0,50, 1,00, 2,00, 4,00, 8,00, 16,00 Kg/cm². Al alcanzar a la presión predeterminada de carga dentro de la serie programada, se procede a realizar la descarga, por decrementos en el orden similar al de la carga.

En el ensayo se toman los tiempos $t_1, t_2, t_3, \dots$, y las deformaciones respectivas $H_1, H_2, H_3, \dots$, en el dial vertical.

Con los puntos obtenidos se dibuja la curva tiempo en minutos en el eje de las abscisas y en escala logarítmica, y los asentamientos en el eje de las ordenadas en escala aritmética. Se obtienen las curvas de la figura 9.7.

Las curvas que relacionan las cargas (P), con la relación de vacíos son:

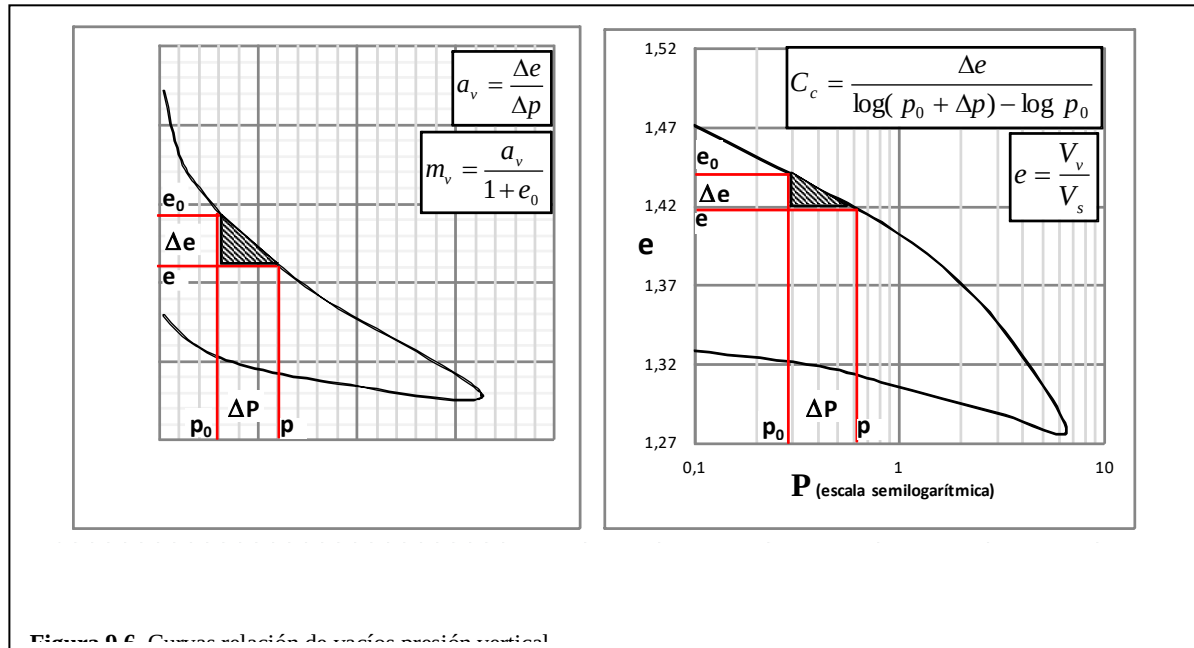


Figura 9.6. Curvas relación de vacíos presión vertical

De estas gráficas se obtienen COEFICIENTES (magnitud adimensional) y MÓDULOS (magnitud con dimensión) que califican la compresibilidad del suelo así:

Coefficiente de compresibilidad (a_v) (unidades $\frac{L^2}{F}$): (9.3)

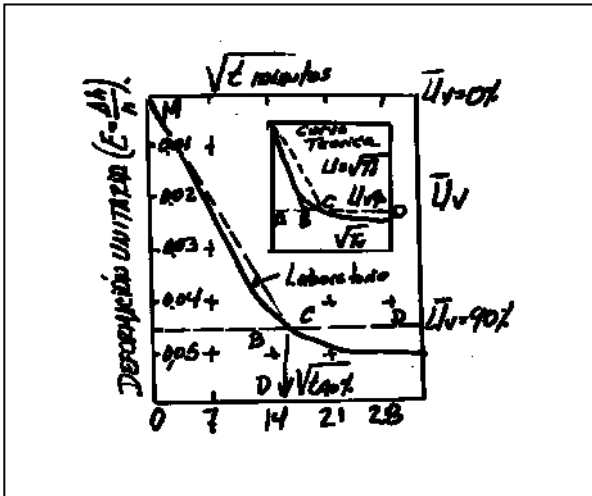
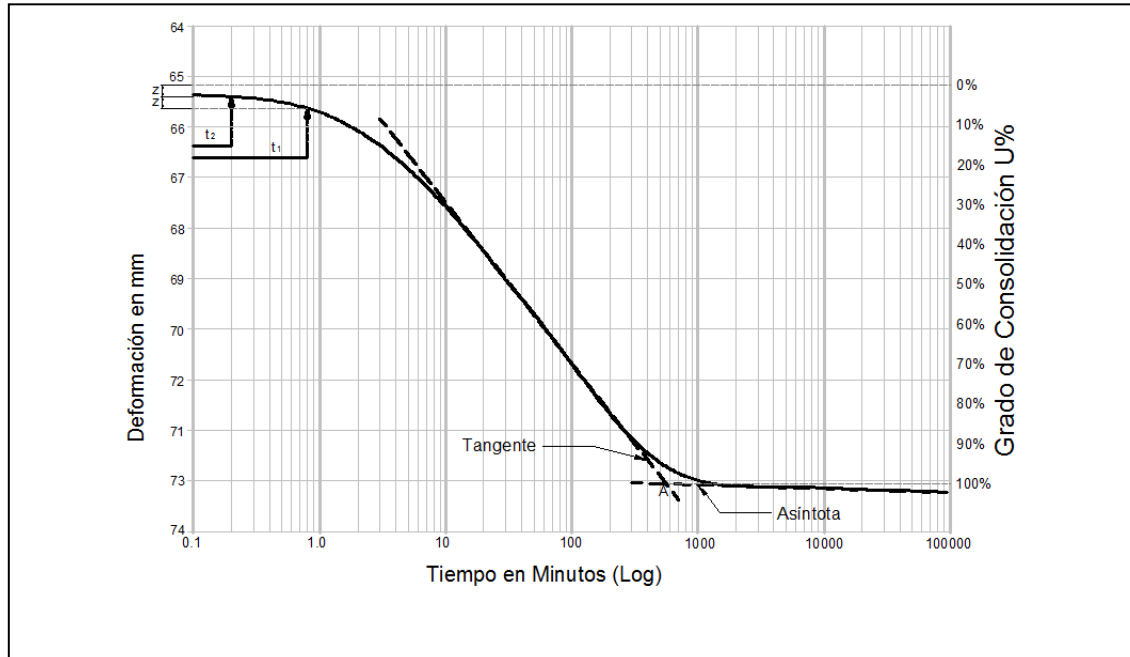
Coefficiente de compresibilidad volumétrica (m_v) ($\frac{L^2}{F}$), en el que e_0 es la relación de vacíos del suelo antes de un incremento de carga específico y de interés para el geotecnista:

$$\text{---} \quad (9.4)$$

Índice de compresión (C_c), (adimensional), se obtiene de la curva semilogarítmica.

Coefficiente de consolidación (C_v), ($\frac{L^2}{F}$). Para su cálculo es necesario tener la curva de asentamiento contra tiempo (escala semilogarítmica), cuyo ajuste consiste en sobreponer la escala U_v a la escala de deformación (d).

Si se extiende el tiempo se logra representar la fase de consolidación secundaria.



AJUSTE. Las tangentes, abajo del punto de inflexión y de la rama final, dan el límite de las dos fases de consolidación (A). En la primera fase, la curva es parabólica, por lo que se pueden tomar dos puntos 1 y 2 tal que $t_2 = t_1/4$. El origen con grado 0% de consolidación está arriba del punto 1, una cantidad $Z_1 = U_{V2} - U_{V1}$. Encontrados el 0% y el 100% de U_V , termina el ajuste.

Las anteriores curvas e Vs P, no son rectas, como si lo pueden ser las curvas $\sigma - \epsilon$ (que siguen la ley de HOOKE) donde la pendiente da una medida del grado de rigidez o de deformabilidad del material (módulo de YOUNG "E").

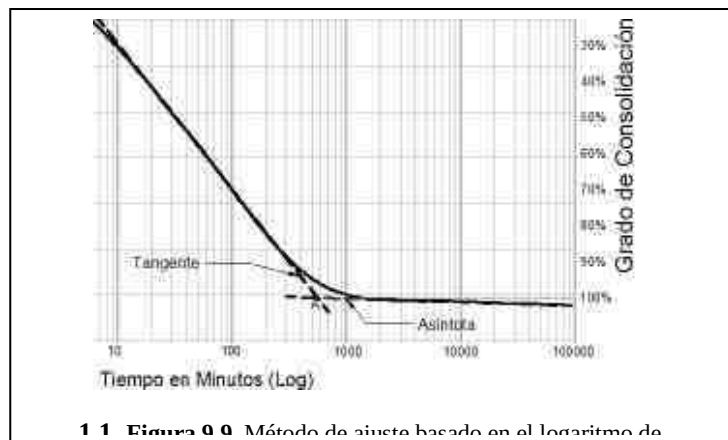
En la consolidación la compresibilidad cambia con la magnitud del esfuerzo, y el valor coeficiente de compresibilidad (a_v) debe ser la pendiente que corresponda con las presiones del terreno.

NOTA: $C_v = f(t_i, T_v, H_i)$: tiempo, factor tiempo y espesor de la muestra en t_i .

CURVA $\varepsilon - \sqrt{t}$: Otra forma de obtener C_v es dibujando esta curva en escala aritmética y que requiere un ajuste para obtener t_{90} , así: la curva se inicia recta desde el origen M. Se prolonga esa parte inicial, que es lineal y sobre la cual quedará el punto B, que habrá de quedar sobre AD = ordenada para $\varepsilon_{90\%}$. Debe buscarse al tanteo la altura de AD que satisfaga la condición de que $AC = 1,15 \cdot AB$, siendo C un punto de la curva con coordenadas $(\varepsilon_{90\%}; \sqrt{t_{90\%}})$. Finalmente se leen las coordenadas de C que es el punto correspondiente al 90% de la consolidación promedio $\bar{U}$ para calcular C_v . En esta curva, con $\bar{U} = 0\%$ y $\bar{U} = 90\%$, sobrepongo U_v .

9.6 Coeficiente de consolidación secundaria C_{∞}

Con la tangente desde I y la asíntota desde B, se obtiene el punto A, cuya ordenada da el 100% de consolidación PRIMARIA. Debajo del punto A, entre A y B, se tiene la curva de consolidación secundaria. Para Terzaghi la consolidación terminaba en A, al disiparse por completo la presión de poros; pero en realidad, el asentamiento continúa a una velocidad que es función del logaritmo del tiempo (el flujo del suelo es viscoso).



Si MN es un ciclo logarítmico, y M está debajo de A, C_{∞} es:

C_{∞} = cambio de relación de vacíos para el ciclo $\log_{10}$ después de A.

9.7 Asentamiento “S” en el ensayo de consolidación (Deformación vertical, confinamiento lateral, material compresible)

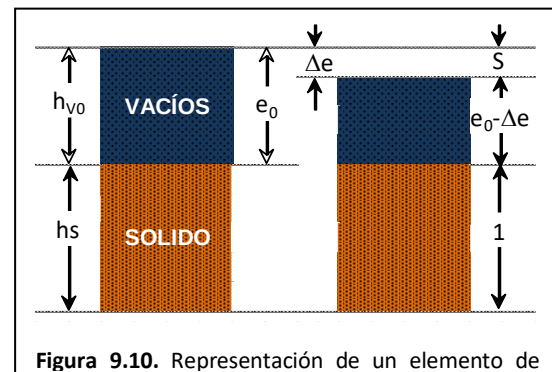
Para expresar el asentamiento total (de laboratorio), en función de las características de compresibilidad de la muestra, se puede hacer la analogía entre S y Δe .

h = altura inicial de la muestra.

S = asentamiento total de la muestra.

$$hV_0 = \text{altura inicial de vacíos} = \frac{\text{Volumen inicial de vacíos}}{\text{área de la muestra}}$$

$$hV = \text{altura final de vacíos} = \frac{\text{Volumen final de vacíos}}{\text{área de la muestra}}$$



$$h_s = \text{altura de sólidos} = \frac{\text{Volumen de sólidos}}{\text{área de la muestra}}$$

La muestra pierde volumen a expensas de los vacíos: el volumen de vacíos (V_v) cambia, pero no el volumen de sólidos (V_s), entonces:

$$S = hV_0 - hV = \frac{hV_0 - hV}{hV_0 + h_s} \quad h = \frac{\frac{hV_0}{h_s} - \frac{hV}{h_s}}{\frac{hV_0}{h_s} + \frac{h_s}{h_s}} h \therefore$$

$$S = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} h = \frac{\Delta e}{1 + e_0} h = \Delta \eta h \quad (9.5)$$

———— Pero de (9.3); $\Delta e = a_v * \Delta P \therefore$ trayendo (9.3)

Se calcula S que es el asentamiento total de una cimentación por la consolidación que experimenta el suelo arcilloso.

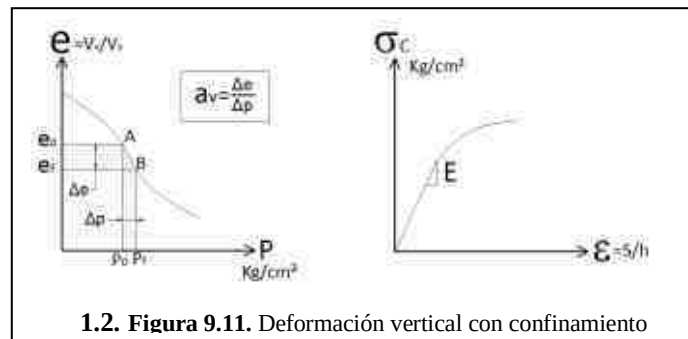
$$\text{————} \quad (9.6)$$

9.8 Analogía de la expresión 9.6 con la ley de Hooke.

El coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v), (también llamado módulo edométrico) para estimar el asentamiento, y el módulo de elasticidad “E” de la curva esfuerzo deformación ($\sigma - \epsilon$) aparecen en estas dos relaciones:

$$1) \quad S = m_v * \Delta P * h$$

$$2) \quad \epsilon = \frac{P}{A} * \frac{L}{E} = \sigma * \frac{L}{E}$$

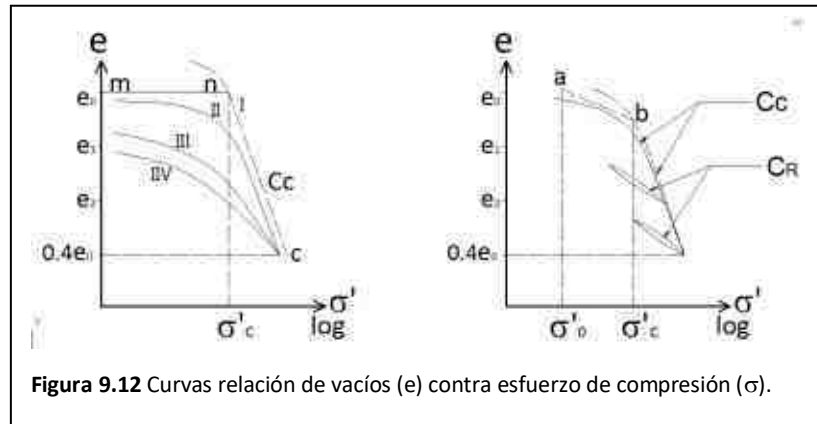


P/A es esfuerzo y L longitud del material con deformación (ϵ); entonces h y L son análogos (longitud); ΔP y σ son análogos (esfuerzo), y deformación (S) con δ son análogos (L). Así m_v con $1/E$ tienen analogía (L^2/F). m_v es el inverso de E : uno expresa COMPRESIBILIDAD, el otro RIGIDEZ. Rigidez es, en efecto, lo opuesto a la deformabilidad.

9.9 Índices de compresión (C_c) y recompresión (C_R).

Sometiendo a compresión confinada un espécimen, las curvas de relación de vacíos (e), V_s ($P=\sigma'$), en escala logarítmica (Figura 9.12), son:

- I** Curva teórica = $nc = bc$.
- II** Curva de laboratorio para muestras inalteradas.
- III** Curva de laboratorio para muestras disturbadas.
- IV** Curva que representa una muestra remoldeada.



Las curvas muestran el tramo virgen b-c o r-c, cuya pendiente es C_C . También muestran el tramo de recompresión (C_R), con menor pendiente. (C_R = índice de recompresión) en los cuales el suelo se somete a procesos de carga – descarga (a-b || c-f). Para calcular C_C o C_R se utiliza la expresión (9.7)

$$\frac{e_1 - e_2}{\log \sigma'_1 - \log \sigma'_2} = C_C \text{ o } C_R \quad (9.7)$$

Dependiendo del tramo seleccionado, se estará obteniendo C_C o C_R .

Las curvas I, II, III y IV convergen en c, punto para el cual $e = 0,4e_0$. También, después de cada ciclo de carga–descarga la trayectoria continúa por el “tramo virgen” con pendiente (C_C). Las condiciones reales en el campo permitirán determinar si el suelo estará con $\sigma'_{REAL} \leq \sigma'_c$

NOTA: Existe correlación entre el límite líquido y C_C :

$C_C = 0,009(LL - 10)$: para arcillas normalmente consolidadas⁴

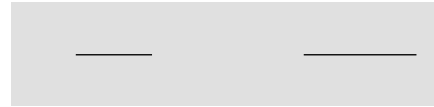
$C_C = 0,007(LL - 10)$: para arcillas remoldeadas.

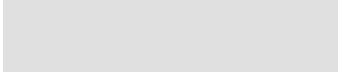
9.10 Cálculo de asentamiento: $S = f(C_C)$

De (9.7) se puede obtener C_C o C_R (9.8)

Llevando (9.8) a (9.5), se puede calcular el asentamiento (S) en función del índice de compresión (C_C), o de recompresión (C_R). $S = f(C_C)$

⁴ El concepto de arcillas normalmente consolidadas se discutirá más adelante.

**Asentamiento (9.9)****a) 9.11 Consolidación y permeabilidad k del suelo compresible**

Dos relaciones básicas:  (9.10)

Donde se expresa la permeabilidad en función del coeficiente de consolidación y del coeficiente de compresibilidad volumétrica, evidencias de que la deformación se puede evaluar por el volumen de agua drenada en el tiempo, y



(9.11)

En donde la permeabilidad se expresa en función del coeficiente de deformación volumétrica (m_v), del tiempo de consolidación (t) y del espesor (H) de la capa drenante (ver $H = H_0$ o $H = H_0/2$, figura 9.16).

El tiempo necesario para la consolidación completa del suelo es directamente proporcional a $H^2 \times m_v$, e inversamente proporcional a la permeabilidad K . Entre dos suelos, las mayores diferencias de consolidación se explican por diferencias en el espesor del suelo y en la permeabilidad.

b) 9.12 Módulo de Young y relación de Poisson

El módulo de elasticidad de Young, E , y el coeficiente o relación de Poisson μ , NO son constantes de un suelo sino magnitudes que describen su comportamiento. En función de variaciones de esfuerzo σ y deformación ε son:

$$E = \frac{(\Delta\sigma_z + 2\Delta\sigma_x)(\Delta\sigma_z - \Delta\sigma_x)}{\Delta\sigma_x(\Delta\varepsilon_z - 2\Delta\varepsilon_x) + \Delta\sigma_z\Delta\varepsilon_z} ; \mu = \frac{\Delta\sigma_x\Delta\varepsilon_z - \Delta\sigma_z\Delta\varepsilon_x}{\Delta\sigma_x(\Delta\varepsilon_z - 2\Delta\varepsilon_x) + \Delta\sigma_z\Delta\varepsilon_z} \quad (8.11)$$

c) 8.13 Relaciones entre ‘parámetros de $\sigma - \varepsilon$ en compresión confinada

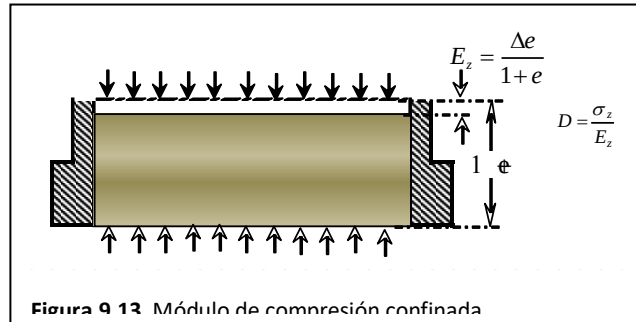
$$\begin{array}{llll} D = \frac{\Delta\sigma_v(1+e_0)}{\Delta e_v} & D = \frac{1}{m_v} & D = \frac{1+e_0}{a_v} & D = \frac{(1+e_0)\sigma_{va}}{0,435C_c} \\ m_v = \frac{1}{D} & m_v = \frac{\Delta e_v}{\Delta\sigma_v(1+e_0)} & m_v = \frac{a_v}{1+e_0} & m_v = \frac{0,45C_c}{(1+e_0)\sigma_{va}} \\ a_v = \frac{1+e_0}{D} & a_v = (1+e_0)m_v & a_v = \frac{-\Delta e}{\Delta\sigma_v} & a_v = \frac{0,435C_c}{\sigma_{va}} \end{array}$$

$$C_c = \frac{(1+e_0)\sigma_{va}}{0,435D} \quad C_c = \frac{(1+e_0)\sigma_{va}}{0,435} m_v \quad C_c = \frac{a_v \sigma_{va}}{0,435} \quad C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma_v}$$

Se han discutido el coeficiente de deformación volumétrica m_v , el coeficiente de compresibilidad a_v y el índice de compresión C_c .

D es módulo de confinamiento o módulo de compresión confinada que es teoría elástica para $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$ es:

$$D = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} = \frac{1}{m_v} \quad (9.12)$$

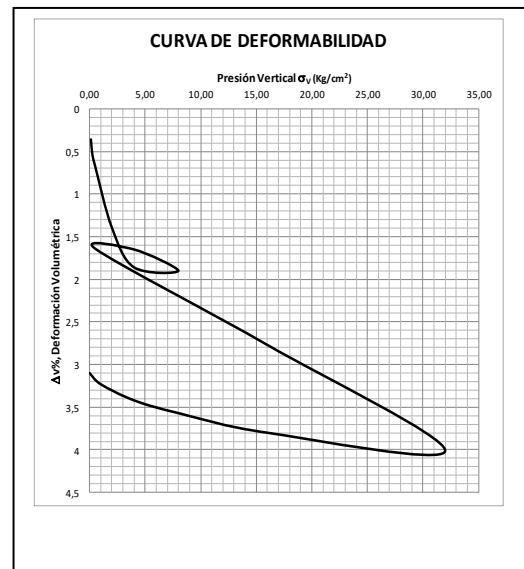


Ejercicio 9.1

Obtener la curva de deformación volumétrica contra presión vertical (en escala aritmética todo) con los siguientes resultados de una arena calcárea, SW, sometida a un ensayo edométrico. Comente la curva.

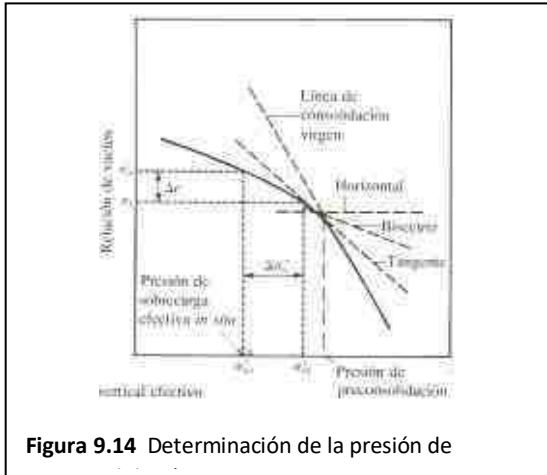
$\sigma_v = \text{Kg/cm}^2$	$\Delta \text{Volumen } \%$	σ_v	$\Delta V \%$
0,13	0,36	(nuevo ciclo)	
0,26	0,54	16,00	2,77
0,52	0,68	32,00	4,01
2,00	1,39	16,00	3,80

Comentario: En la curva aparecen los dos ciclos de carga, el ensayo con edómetro en la primera descarga, la deformación recuperada es del 0,32 (1,96 menos 1,64) y en el segundo ciclo, 0,89 (4,01 menos 3,10). Esto significa que la deformación recuperada en cada ciclo es del 16% (0,32 sobre 1,96) y del 22% (0,89 sobre 4,01). La deformación residual se debe a fracturas no reversibles.



También, en el segundo ciclo, la arena inicia con menor rigidez que en el primer ciclo (observando las presiones menores que a la segunda curva es más tendida o menos inclinada). Esto porque ya se han producido deslizamientos entre partículas a esos niveles de carga, y fracturas como se comentó.

Para cargas mayores, entre A y B, la curva $\sigma - \Delta V$ es esencialmente la misma, como si no hubiera habido una descarga previa.



d) 9.14 Carga de preconsolidación

Todo suelo tiene una historia geológica de esfuerzos que puede investigarse en las curvas del ensayo de consolidación. En la figura 9.12a se tiene un set que muestra comportamientos diferentes entre suelos remoldeados (IV) e inalterados (II); la figura 9.12b permite diferenciar, en un ciclo CARGA – DESCARGA, el tramo de recompresión y el tramo virgen de la curva $e - \sigma_{(log)}$, que se corresponden con dos situaciones así: presiones ya soportadas por el suelo y nunca antes sobrellevadas por él, de conformidad con lo discutido en el ejercicio 9.1 (comentarios a la curva).

Arturo Casagrande desarrolló el método para conocer la PRESIÓN DE PRECONSOLIDACIÓN.

Se escoge el punto de mayor curvatura, en escala semilogarítmica; se traza la horizontal y la tangente a ese punto. Luego se obtiene la bisectriz del ángulo que forma la horizontal con la tangente. Se traza la asíntota al tramo virgen, y la intersección de la asíntota con la bisectriz genera un punto, cuya abscisa corresponde a la presión de preconsolidación (σ_0).

a) ARCILLA PRECONSOLIDADA: Es aquella que recibe hoy cargas menores de las que en su historia geológica ha tenido. Esta arcilla es más dura.

b) ARCILLA NORMALMENTE CONSOLIDADA: Es aquella que nunca en su historia geológica ha soportado las cargas actuales. Esta es más compresible.

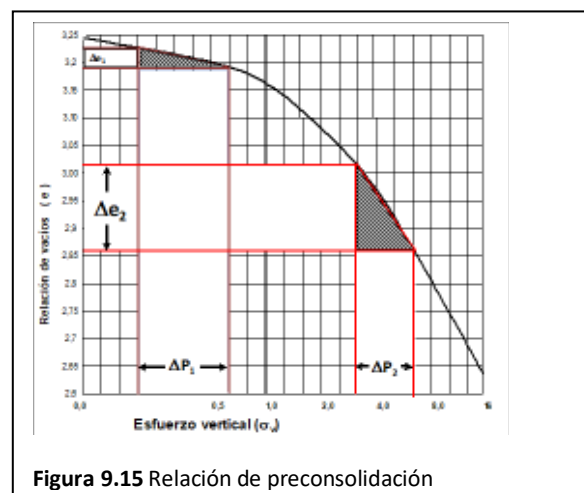
Relación de sobreconsolidación RS

$$RS = \frac{\text{Esfuerzo de Preconsolidación } (P_0)}{\text{Presión de sobrecarga efectiva actual}} \quad (9.13)$$

Si $RS < 1$, se están aplicando cargas inferiores a la presión de preconsolidación, el suelo responde como suelo duro (situación 1).

Si $RS > 1$, se están aplicando cargas superiores a la presión de preconsolidación P_0 y el suelo se comporta como blando (situación 2).

Obsérvese que para un incremento de esfuerzo $\Delta P = \Delta P_1 = \Delta P_2$, la deformación del suelo Δe_1 es menor que la deformación Δe_2 .



Teoría de la consolidación. (Terzaghi 1925)

Útil para conocer aproximadamente la rata de asentamiento de un suelo por cargas aplicadas, con base en el resultado del ensayo de consolidación (laboratorio).

Hipótesis

- Estrato de suelo homogéneo, isótropo y de espesor constante.
- Estrato saturado 100% entre 1 ó 2 superficies más permeables.
- Compresibilidad del agua y los granos, despreciable.
- Acciones similares de masas infinitesimales o masas grandes.
- Compresión unidimensional, en dirección normal a la capa de suelo.
- Validez de la ley de Darcy.
- Valores constantes de las profundidades del suelo (algunas cambian).
- Relación lineal (idealizada) entre relación de vacíos y presión.
- Deformaciones lentas que permitan despreciar las fuerzas de inercia.

NOTA: se asume que el suelo se consolida en medio de dos capas de arena. La capa superior es un estrato de arena horizontal con carga uniforme. (Ver figuras 9.16a y b; esta situación es la del experimento de la figura 9.6).

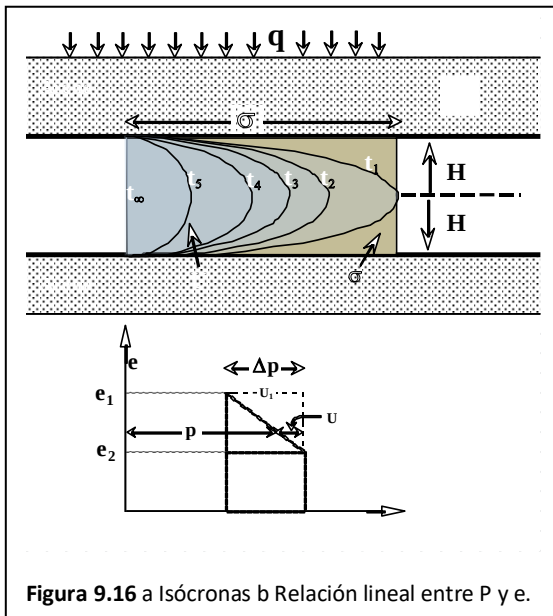
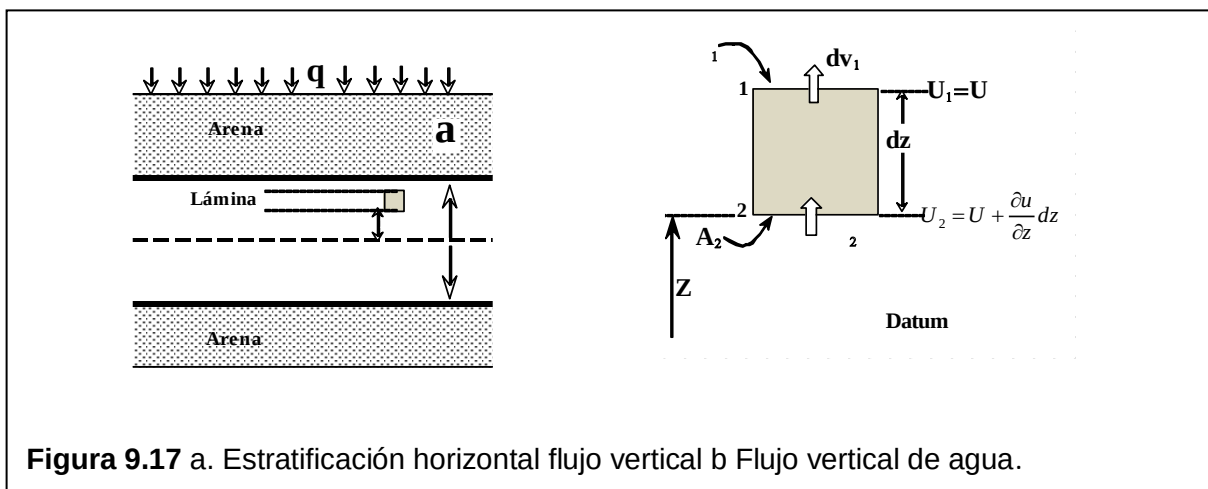


Figura. 9.16a: Isócronas mostrando cómo se disipa la presión de poros U en el tiempo t_i . Como $\sigma = \text{cte.}$, σ' aumentará a medida que el agua sale del estrato compresible de arcilla hacia las capas de arena, superior e inferior.

Figura. 9.16b: Hipótesis de relación lineal entre P y e. (ABC = recta)

Figura 9.17a: Estratificación horizontal con flujo vertical y carga q uniforme. Un estrato de arcilla que se consolida entre dos suelos más permeables.

Figura 9.17b: En un elemento de altura dz , comprimido, fluye agua verticalmente. En el tiempo dt , entra un volumen de agua dv_2 y sale un volumen dv_1 . El movimiento de agua es producido por la diferencia de presiones de poros U_1 y U_2 entre los puntos 1 y 2.



La ordenada del elemento infinitesimal es Z (figura 9.17a).

El elemento infinitesimal perderá volumen a causa de la salida de agua. La pérdida de agua se estima de dos modos:

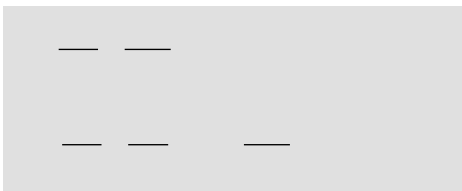
e) Diferencia entre dv_1 y dv_2

f) Cambio de volumen en función de m_v

Para el elemento de suelo escogido, fig. 9.17a y 9.17b, el agua sube, y el flujo se debe a la diferencia de presión entre 1 y 2 que es $U_1 - U_2$:

$U_1 = U$ subpresión hidrostática en 1 (9.14)

$$U_2 = U + \frac{\partial U}{\partial Z} dz \quad \text{subpresión hidrostática en 2 (9.15)}$$



Los gradientes hidráulicos i_1 e i_2 en 1 y 2 son:

Las pérdidas de volumen del suelo (por consolidación), evaluada por el agua que pierde o expulsa y que depende de la permeabilidad (1ª forma), se valora expresando su volumen en función de m_v (2ª forma). El valor de dV será:

1ª forma (DARCY)

El volumen dV_1 de agua que sale durante el tiempo dt , es:

$$dV_1 = K \frac{1}{\gamma_w} * \frac{\partial U}{\partial Z} dt \quad (\text{asumimos Área} = 1)$$

El volumen dV_2 de agua que entra durante el tiempo dt , es:

$$dV_2 = \frac{K}{\gamma_w} * \frac{\partial}{\partial Z} \left(U + \frac{\partial U}{\partial Z} dz \right) dt$$

Restando, $dV_2 - dV_1$, obtenemos ΔdV , el volumen perdido:

$$\Delta dV = \frac{K}{\gamma_w} \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} dz dt \quad (9.18)$$

2ª forma Coeficiente de compresibilidad volumétrico (m_v); (Sección 8.7).

Recordando, $S = \frac{\Delta e}{1 + e_0} h$ o sea: $\Delta dV = \frac{de}{1 + e_0} dz$; (área = 1)

Pero $\Delta e = a_v \Delta P$, o sea, $de = a_v d\sigma'$ (Figura 9.6)

Siendo $d\sigma'$ la diferencia en el esfuerzo efectivo (o presión efectiva)

$$\Delta dV = dV_1 - dV_2 = \frac{a_v * d\sigma'}{1 + e_0} dz = m_v d\sigma' dz \quad (\text{Sección 9.7})$$

Pero, la carga del terreno es constante; entonces, aunque varían U y σ' , no variará σ y siempre $\sigma = U + \sigma'$. Esto sugiere, además, que $0 = dU + d\sigma'$, que es lo mismo que $dU = -d\sigma'$.

$$\text{Luego: } \frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{d\sigma'}{dt} \Rightarrow d\sigma' = -\frac{\partial U}{\partial t} dt$$

Entonces, reemplazando $d\sigma'$ en la anterior expresión de ΔdV :

$$\Delta dV = -\frac{m_v \partial U}{\partial t} dz dt \quad (9.19)$$

Igualando (9.18) y (9.19), en valor absoluto, obtenemos:

$$m_v = \frac{\partial U}{\partial t} dt \quad dz = \frac{K}{\gamma_w} \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} dz \quad dt$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{K}{m_v \gamma_w} * \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{K}{m_v \gamma_w} * \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \quad \text{“ECUACIÓN DIFERENCIAL DE CONSOLIDACIÓN”}$$

$$\text{En (8.20), } \frac{\partial U}{\partial t} = \frac{K}{m_v \gamma_w} * \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \quad (\text{Figura 9.7) (Ecuación 9.10)}$$

Nota: La solución de una ecuación diferencial es una integral. La integral se resuelve con base en sumatorias (por intermedio de series). Estos resultados se presentan en ábacos.

9.16 Solución a la ecuación de comportamiento (Ecuación diferencial de consolidación)

Si la extensión de la carga sobre el terreno es ilimitada y la presión aplicada “q” es constante con la profundidad, inicialmente los esfuerzos los asume el agua intersticial en la forma de un exceso de presión de poros, (U_{0e}).

- En consecuencia, la llamada CONDICIÓN DE FRONTERA INICIAL es: Para tiempo $t = 0$, $U_e = U_{0e} = q$, para $0 \leq Z \leq H$
- Contrariamente, disipación de la presión de poro, la CONDICIÓN FINAL DE FRONTERA es: Para tiempo $t = \infty$, $U_e = 0$, para $0 \leq Z \leq H$
- La CONDICIÓN DE FRONTERA para cualquier tiempo t será:

$$\text{Para } 0 < t < \infty: \frac{\partial U_c}{\partial Z} = 0 \text{ en } Z = 0; \quad U_e = 0 \text{ en } Z = H$$

La solución de la ecuación (8.20) está dada por:

$$\text{[Blank box for equation (9.21)]} \quad (9.21)$$

$$\text{donde } M = \frac{\pi}{2}(2m+1) \text{ con } m = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

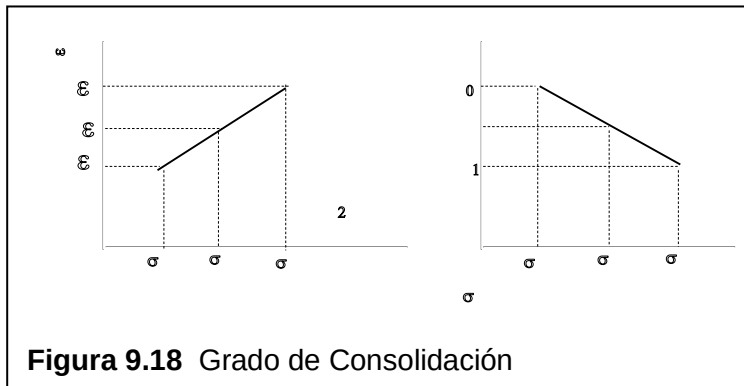
H = longitud máxima de la trayectoria de drenaje

T_v = Factor (adimensional) de tiempo vertical;

$$\text{[Blank box for equation (9.22)]} \quad (9.22)$$

(No confundir T_v con t)

Ahora, el GRADO DE CONSOLIDACIÓN de un elemento de suelo U_v se define como:

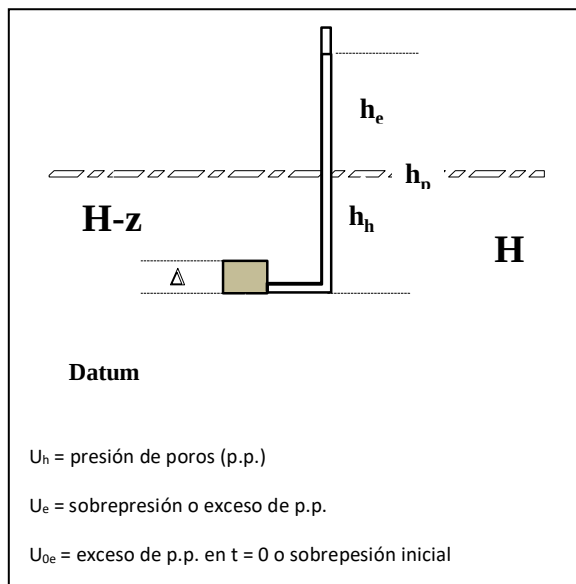


$$(9.23)$$

$$\text{si } \frac{e_0 - e}{e_0 - e_f} = \frac{\sigma' - \sigma'_0}{\sigma'_f - \sigma'_0} \quad (9.24)$$

$$(9.25)$$

(No confundir U_v con U)



Al aplicar el principio de esfuerzos efectivos $\sigma = \sigma' + U$ para $t = 0$ y antes de aplicar la carga q en la superficie, se tiene:

$$\gamma_s (H - Z) = \sigma'_0 + u_h$$

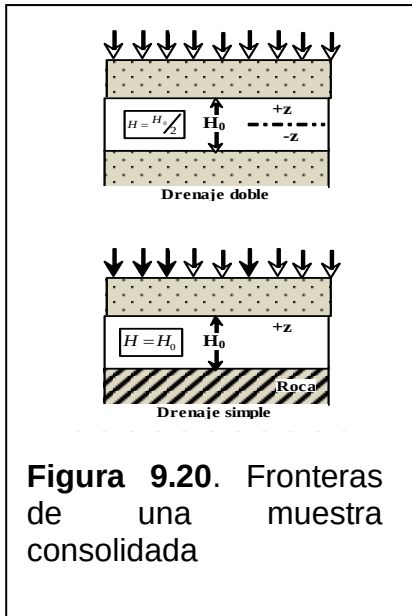
y luego de aplicar la carga q

$$\text{para } t = 0 \quad q + \gamma_s (H - Z) = \sigma'_0 + u_h + U_{0e}$$

$$\text{para } t = t \quad q + \gamma_s (H - Z) = \sigma' + u_h + U_e$$

$$\text{para } t = \infty \quad q + \gamma_s (H - Z) = \sigma'_f + u_h$$

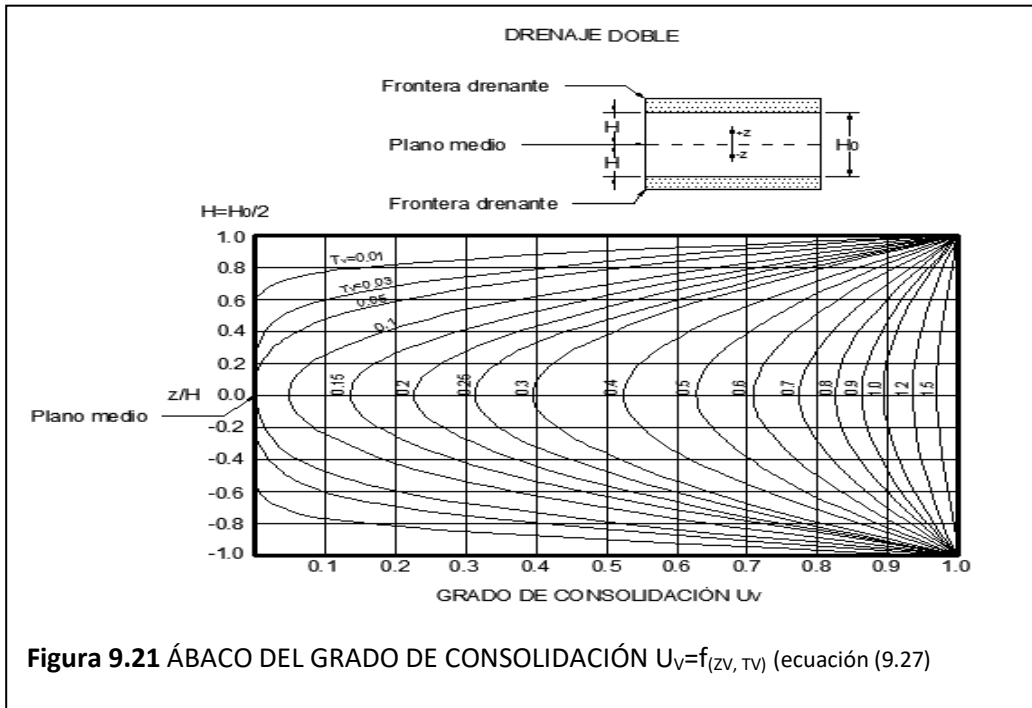
$$(9.26)$$



El grado de consolidación es igual al grado de disipación del exceso de presión de poros; si se sustituye U_e / U_{0e} en (1) se tiene:

$$\frac{U_e}{U_{0e}} = \frac{Z_v}{H} \quad (9.27)$$

La ecuación 8.27 puede resolverse para varios valores de U_v en función de Z/H y de T_v . Podemos hacer $Z_v = \frac{Z}{H}$. Si la lámina de agua reposa en una frontera impermeable y sólo drena hacia arriba, lo que se denomina drenaje simple, se trabaja con la mitad superior del ábaco U_v , T_v , Z_v , y en drenaje doble, con todo el ábaco. La figura aludida refleja el proceso de consolidación, ya que muestra la rapidez de aquel en las fronteras drenantes y la lentitud en la frontera impermeable. Además, muestra cómo la consolidación avanza en el tiempo, a medida que aumentan los valores de σ' .



$$H = H_0/2$$

Drenaje doble

Pero además de los valores U_v , también se requiere el grado promedio de consolidación $\bar{U}_v$, que refleja el asentamiento en toda la superficie horizontal. Por analogía en la ecuación (9.26) y teniendo en cuenta la ecuación (9.21)

$$\overline{U_v} = 1 - \frac{\overline{U_e}}{U_{0e}} = 1 - \frac{1}{H} \int_0^H \frac{U_e}{U_{0e}} dz \quad \left(\text{reemplazo } \frac{U_e}{U_{0e}} \right)$$

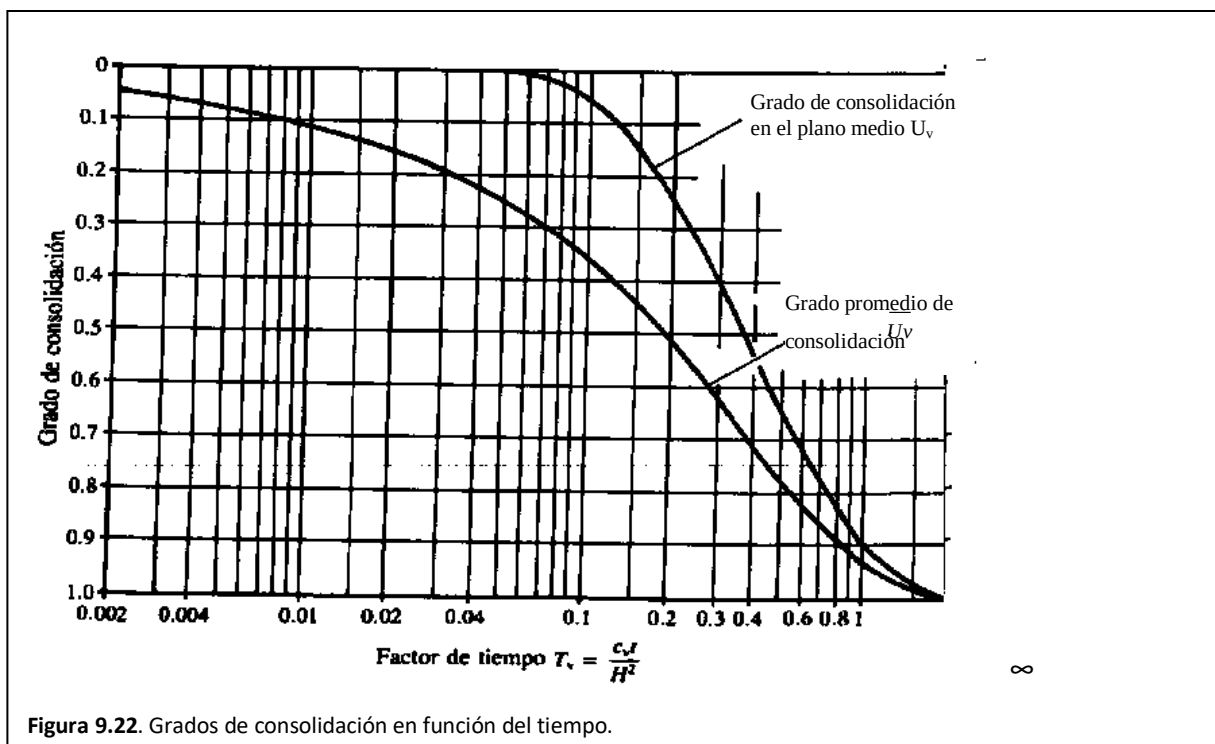
$$\overline{U_v} = 1 - \frac{1}{H} \int_0^H \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \sin \left[M \left(1 - \frac{Z}{M} \right) \right] \exp(-M^2 T_v) dz$$

$$\overline{U_v} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \quad (9.28)$$

Para valores dados de T_v puede calcularse el $\overline{U_v}$ correspondiente. En la gráfica de la figura 9.22

U_v = Consolidación en el plano medio

$\overline{U_v}$ = Consolidación promedio.



g) 9.17 Velocidad de consolidación

La velocidad de compresión secundaria (sección 9.6) depende de las propiedades físico – químicas del suelo y es independiente de su espesor.

- La línea de compresión secundaria representa un FLUJO VISCOSO.
- La línea de compresión primaria corta la línea de FLUJO VISCOSO en un tiempo t que depende de H^2 (en la fórmula de la figura 9.17, $(T_v = C_v t / H^2)$)

Si comparo dos muestras con espesores diferentes H_a y H_b , los tiempos t_a y t_b para alcanzar el mismo grado de consolidación están relacionados así:

$$t = \frac{T_v H^2}{C_v}; \text{ para a y b } \Rightarrow \frac{t_a}{t_b} = \frac{C_{vb} T_{va}}{C_{va} T_{vb}} * \frac{H_a^2}{H_b^2} \quad (9.29)$$

Para el mismo suelo y en virtud de que $U_a = U_b$, cancelo C_v y T_v

$$\therefore \frac{t_a}{t_b} = \left[\frac{H_a}{H_b} \right]^2 \quad (9.30)$$

Debe recordarse que, si existe doble drenaje, el problema considera $H = H_0 / 2$, y si existe drenaje simple, $H = H_0$, por lo que con doble drenaje el tiempo se reduce a la cuarta parte.

8.18 Grado de consolidación promedio, (usar ábaco de la figura 9.22)

El grado promedio de consolidación es de utilidad para el ingeniero porque refleja el asentamiento en superficie donde se encuentran las obras de ingeniería (pavimentos, edificaciones, etc.). Se utiliza entrando con un T_v dado para obtener un $\bar{U}_v$ en el ábaco de la figura 9.22. Este ábaco da, además, el grado de consolidación de una lámina⁵ que pasa por la mitad horizontal de la capa que se consolida, o por la frontera impermeable si el suelo experimenta drenaje simple.

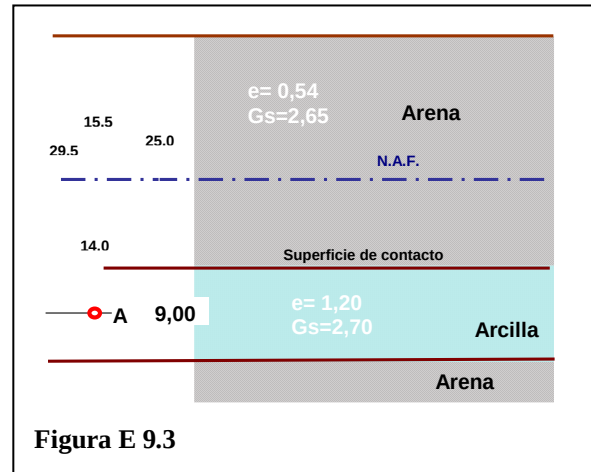
⁵ Lámina de espesor dz y de material compresible de la figura 9.17.

Ejercicio 9.2.

En el perfil anexo, se tiene una capa de arcilla compresible, doblemente drenada y sometida a un efecto de consolidación; se estima que en un período de 5,7 años el NAF baja 15,5m. Elabore un diagrama de esfuerzos para el estrato de arcilla, mostrando la situación inicial y la final anunciadas en los dos contactos con la arena y en el punto A.

Solución:

$$\sigma' = \sigma - U.$$



Consideremos el punto A con $Z_w = 29,50$ m, que corresponde al nivel freático inicial, localizado en la superficie del terreno (NAF₁),

$$\sigma'_{0A} = \frac{2,65 + 0,54}{1 + 0,54} (9,81)(25) + \frac{2,70 + 1,2}{1 + 1,2} (9,81)(4,5) - 9,81(29,5)$$

$$= 296,87 \text{ KPa} \Rightarrow \text{con NAF}_1$$

Si desciende el nivel de agua freática (NAF₂), a 15,5 m, y asumiendo que la arena retiene el 9% de su peso en agua, tenemos:

$$\sigma'_{fA} = \frac{2,65(1 + 0,09)}{1 + 0,54} (9,81)(15,5) + \frac{2,65 + 0,54}{1 + 0,54} (9,81)(9,5) +$$

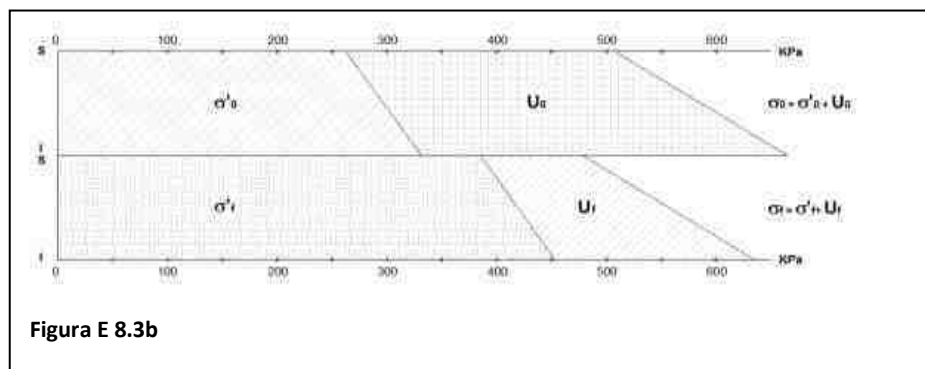
$$+ \frac{2,70 + 1,2}{1 + 1,2} (9,81)(4,5) - 9,81(14) = 377,14 \text{ KPa} \Rightarrow \text{con NAF}_2$$

El cuadro presenta el diagrama de esfuerzos (KPa): en los contactos, el cálculo es similar. Además, $\Delta\sigma' = \sigma'_f - \sigma'_0$

Punto	Zm	σ_0	U_0	σ'_0	σ_f	U_f	σ'_f	$\Delta\sigma'$
Contacto superior	25	508,02	245,25	262,77	478,25	93,20	385,05	+122,28
Punto medio A	29,5	586,27	289,40	296,87	556,50	137,34	419,16	+122,29
Contacto inferior	34	664,53	333,54	330,99	634,76	181,49	453,27	+122,28

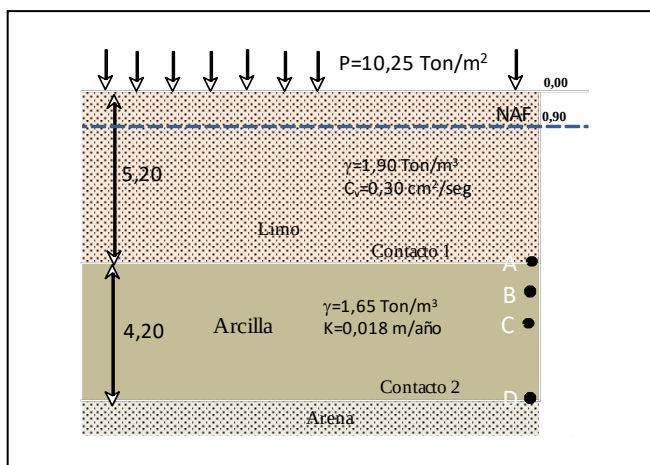
Situación con NAF – 1

Situación con NAF – 2

**Ejercicio 9.4.** (de LAMBE).

Se muestra el perfil de un suelo, sobre el que se construyó un relleno. Determinar los efectos de la carga del terraplén en los puntos A, B, C y D de una arcilla, 4 meses después, si se presenta drenaje doble hacia el limo y la arena del perfil.

Se adjuntan los resultados de la prueba edométrica y los pesos unitarios del limo y de la arcilla, y la permeabilidad de la arcilla. La arcilla es normalmente consolidada.

1) Esfuerzos iniciales (Ton/m²)

PUNTO	Z (m)	Descripción	ESFUERZOS INICIALES					Esfuerzo inicial más sobrecarga
			Esf. parcial	Ton/m ₂	σ_v	U	$\sigma'_v = \sigma_v - U$	
DATUM	0,00	Superficie	5,20 * 1,90	= 9,86	0,00	0,00	0,00	10,25
A	5,20	Contacto #1	1,05 * 1,65	= 1,73	9,86	4,30	5,56	15,81
B	6,25	Arcilla (int)	1,05 * 1,65	= 1,73	11,57	5,35	6,24	16,49
C	7,30	Arcilla (pto medio)	2,10 * 1,65	= 3,47	13,32	6,40	6,92	17,17
D	9,40	Contacto #2			16,79	8,50	8,29	18,54

- La última columna, $\sigma' + q$, muestra el incremento que tendrán los esfuerzos efectivos, después del proceso de consolidación. El estado inicial de esfuerzos sólo se muestra en las columnas anteriores.
- El punto C ¿en qué tramo de la curva queda? Antes era M y ahora N
- El punto C muestra que la arcilla soportará presiones que no conoce.
- m_v y C_v (Sección 9.14): como la arcilla es normalmente consolidada se utiliza la curva virgen MN. Esto porque $\sigma'_c = 1,717 \text{ kg/cm}^2 = 17,17 \text{ ton/m}^2$ supera el valor de σ' in situ, que es el de M.
- De la curva de presión de consolidación se obtiene m_v (Figura 9.6 y Sección 9.13)

$$M \Rightarrow e_0 = 1,83; \sigma_0 = 0,692 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

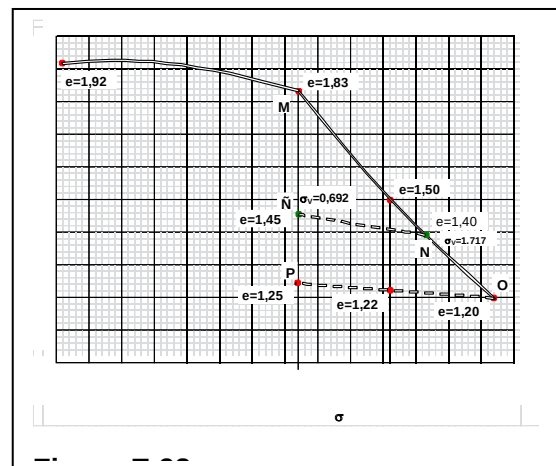


$$N \Rightarrow e = 1,40; \sigma = 1,720 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$m_v = \frac{0,43}{(1+1,83)} * \frac{1}{1,028} = 0,15 \frac{\text{cm}^3}{\text{Kg}} = 0,15 * 10^{-3} \frac{\text{cm}^3}{\text{gr}}$$

$$MN \Rightarrow \Delta e_v = -0,43; \Delta \sigma_v = 1,028 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Resultados del ensayo de consolidación							
e		1,92	1,83	1,50	1,20	1,22	1,25
σ_v Kg/cm		0	0,69	1,38	2,77	1,38	0,69



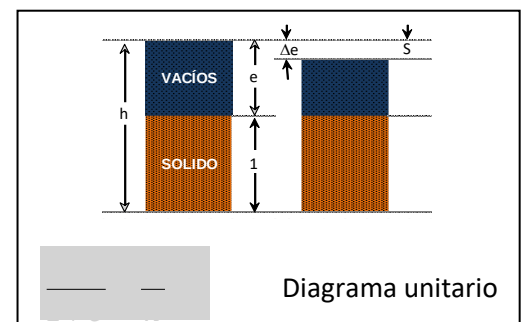
Cálculo del coeficiente de consolidación C_v (Figura 9.10 y Fórmula 9.10)

$$C_v = \frac{K}{\gamma_w * m_v} \Rightarrow K = 0,018 \frac{\text{m}}{\text{año}} = 5,7 * 10^{-8} \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

$$C_v = \frac{5,7 * 10^{-8}}{1 * 0,15 * 10^{-3}} = 4 * 10^{-4} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}} = 1,26 \frac{\text{m}^2}{\text{año}}$$

Asentamientos: Con la pérdida de agua el suelo se consolida. Comparando los valores de C_v , de los suelos $0,3 \gg 4 * 10^{-4}$ puedo ver que el asentamiento por consolidación significativo estará en el estrato de arcilla.

Asentamiento en el punto medio de la arcilla, S_c



$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} * \sum H_0 = \frac{0,43}{1 + 1,83} * 4,20 = 0,64m \quad (\text{según diagrama})$$

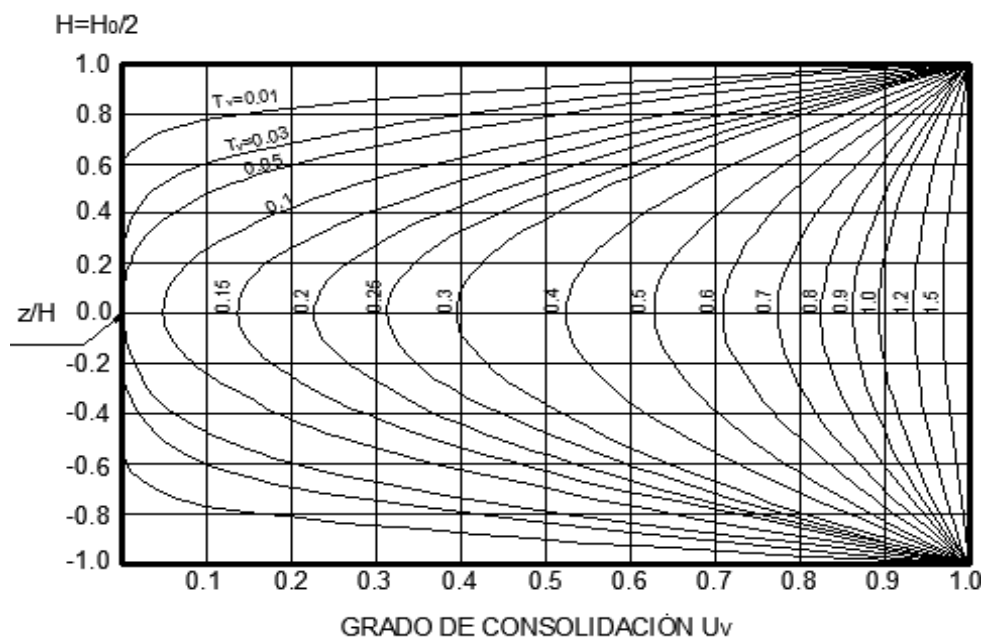
$$S_c = \sum H_0 m_v \Delta \bar{\sigma} = (4,20 * 100)(0,15)(1,028) = 65cm = 0,65m$$

Si eventualmente se retira el relleno, el suelo se levanta debido a la expansión de la arcilla (C pasa de N a $\bar{N}$)

La reducción de esfuerzos es $q = \Delta \sigma_v = 1,025 \text{ Kg/cm}^2 = 10,25 \text{ Ton/m}^2$. En el laboratorio, la curva $e - \log \sigma_v$ da la posibilidad de trazar la línea $N\bar{N}$, paralela a la fase de expansión P-Q, que se corresponde con el comportamiento del suelo sometido a niveles de esfuerzos conocidos históricamente. Así (con las coordenadas de N y $\bar{N}$):

$$S_{\text{exp}} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \sum H_0 = \frac{(1,40 - 1,45)}{(1 + 1,40)} (4,20 - 0,64) = 0,07m \quad (\text{hinchamiento})$$

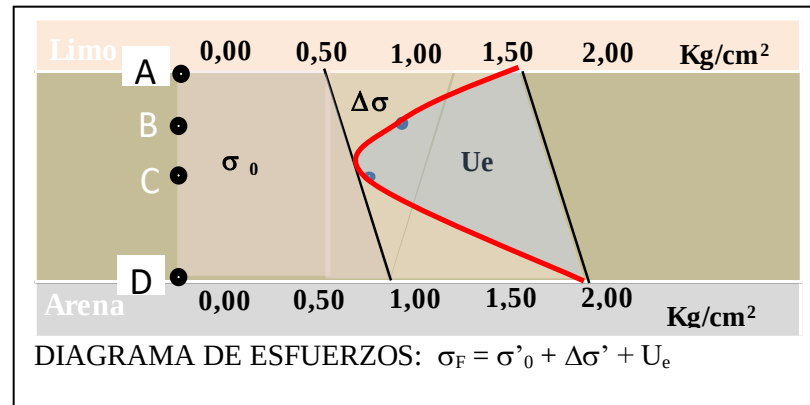
Cálculo de la presión de exceso o sobrepresión intersticial U_e , en los puntos B, C, y D de la arcilla (Figura 9.21, ábaco $U_v - Z_v$)



Punto	H	Z	/	t	C _v	—	Efectivos	Poro
							U _v	1 - U _v
B	2,10	1,05	½	4/12	12,6 * 10 ³	0,095	0,24	0,76
C	2,10	2,10	1	4/12	12,6 * 10 ³	0,095	0,05	0,95
D	2,10	4,20	2	4/12	12,6 * 10 ³	0,095	1,00	0,00

Explicación de T_v :

_____ /

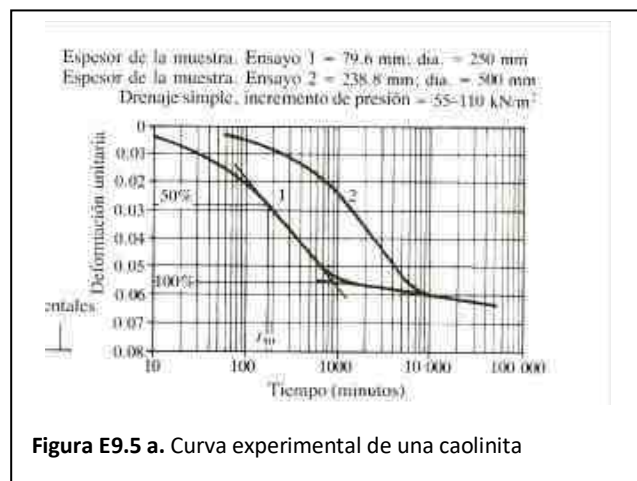


ESFUERZOS Y PRESIONES DE POROS, 4 meses después: (Ton/m²)

Punto	U_e	U_{ss}	$U_{ss} + U_e$	σ'_0	$\Delta\sigma'$	$\sigma'_0 + \Delta\sigma'$	σ'_{FINAL}	$\sigma'_{INICIAL}$
B	7,79	5,35	13,14	6,24	2,46	8,70	16,49	6,24
C	9,74	6,40	16,14	6,92	0,51	7,43	17,17	6,92
D	0,00	8,50	8,50	8,29	10,25	18,54	18,74	8,29
$q(U_v-1)$				$q(U_v)$			Esfuerzos efectivos finales	Esfuerzos efectivos iniciales

Donde U_e es la presión de poro en exceso. U_{ss} la presión de poros del cuadro anterior; además, se presentan los esfuerzos anteriores y los actuales (4 meses después).

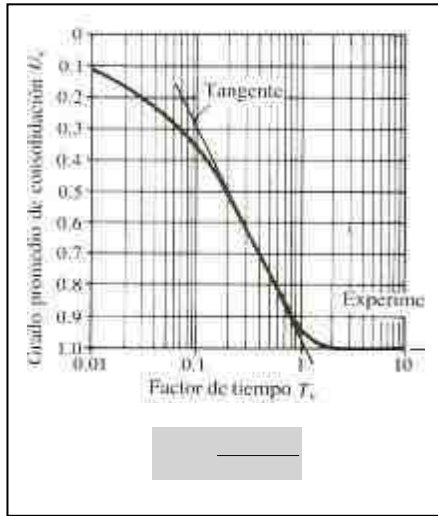
Ejercicio 9.5 (de BERRY).



Se muestra una curva experimental de una caolinita remoldeada (Fig E9.5a). Muestra N_01 : espesor 79,6mm; diámetro = 250mm = ϕ . En la figura III, $e-\sigma'_{(log)}$, se dan más datos de 1. Drenaje simple; incremento de presión de 55 a 110 KN/m^2 . Abajo, la curva teórica del método de ajuste basado en el logaritmo del tiempo $U_v - T_v$ (Figura E9.5.b).

a) Relacione la curva teórica (de la figura E9.5b) y la experimental (Fig E.9.5a)

b) Calcule el coeficiente C_v de consolidación vertical.



- c) Calcule el coeficiente m_v de compresibilidad volumétrica.
- d) Calcule el coeficiente K_v de permeabilidad vertical.
- e) Calcule el coeficiente C_∞ y el índice C_c . Curva de la figura E.9.5.c

NOTA: El espesor H promedio de la muestra es 77,4 mm.

a) **Curva teórica** (E.9.b): Se observa que el 100% de $\bar{U}_v$ (grado de consolidación promedio) se da en el corte de la asíntota con la tangente. Curva "I" aplicando el principio anterior obtengo A y leo que la deformación unitaria para el incremento $\Delta\sigma_1 = 55 \text{ KN/m}^2$ es 0,056 (adimensional) $= \varepsilon_A$.

Para leer el t_{50} debo obtener $\bar{U}_0$ y $\bar{U}_{100}$, luego

b) **El valor C_v** se basa en el ajuste del punto del 50% y se calcula con la expresión:

$$T_{v50} = \frac{C_v t_{50}}{H^2} \text{ o con } T_{v90} = \frac{C_v t_{90}}{H^2}$$

De la fig E 9.5.a: $t_{50} = 170$ minutos; $t_{90} = 689$ minutos.

Factor tiempo T_v : En el ábaco $U_v - T_v$ de la figura 9.22; cortando la curva $\bar{U}_v$ tenemos: Para el 50% $T_v = 0,197$; para el 90%, $T_v = 0,848$

$$C_v = \frac{T_v H^2}{t} \Rightarrow C_{v50} = \frac{0,197(77,4)^2}{170} ; C_{v90} = \frac{0,848(77,4)^2}{689}$$

$$\text{Entonces; } C_v \text{ promedio} = \frac{C_{v50} + C_{v90}}{2} = \frac{6,9 + 7,4}{2} = 7,15 \text{ mm}^2/\text{minuto}$$

C_v promedio = 7,15 mm^2 / min , equivale a 3,8 $\text{m}^2 / \text{año}$

c) Cálculo de m_v (se utiliza la ordenada de A en la curva 9.5A: ε_A)

Para calcular m_v , coeficiente de compresibilidad volumétrica, tenemos

$$m_v = \frac{a_v}{1+e}; \quad a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P}$$

$$\text{pero } \frac{\Delta e}{1+e} = \frac{S}{h} \Rightarrow , \text{ ecuación (9.4)}$$

$$m_v = \frac{\Delta e}{1 + e_0} * \frac{1}{\Delta \sigma'} = \frac{S}{h} * \frac{1}{\Delta \sigma'} \Rightarrow \begin{cases} \text{La deformación final primaria} \\ \text{unitaria en el ensayo es } 0,056 \\ \text{y } \Delta \sigma' = 110 - 55 = 55 \text{ KN/m}^2 \end{cases}$$

$$m_v = \frac{0,056}{1,000} * \frac{1}{55} = 0,00102 \text{ m}^2/\text{KN}$$

- d) Cálculo de K_v : (Esta estimación aproximada nunca suple el ensayo de permeabilidad directo, sea de campo, sea de laboratorio. ecuación 9.10)

$$K_v = C_v m_v \gamma_w = C_v m_v (\rho_w * g) = 3,8 * 0,00102(9,81 * 1)$$

$$K_v = 0,038 \text{ m / año}$$

- e) **Cálculo de C_∞** (Cambio de relación de vacíos por ciclo $\log_{10}$ de tiempo)

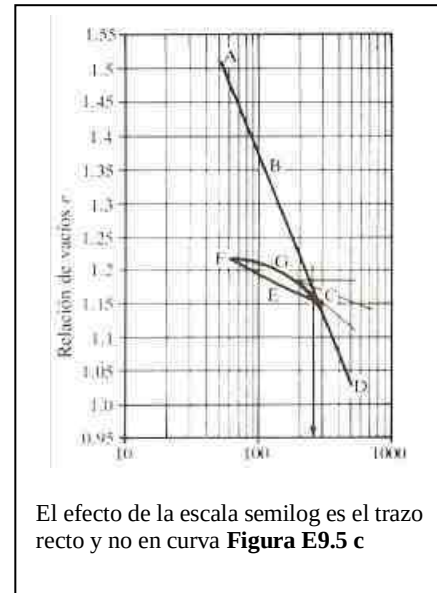
Se sabe que el valor típico de C_∞ en las arcillas normalmente consolidadas es $0,005 < C_c < 0,05$; en las preconsolidadas, menos de 0,002.

Ahora: El ciclo 1 tiene en su registro $\omega = 56,2\%$, $S = 100\%$, $G_s = 2,65$. Aplicando la fórmula:

$G_s \times w = S \times e$, tenemos:

$$e_0 = \frac{\omega * G_s}{S} = \frac{0,562 * 2,65}{1,00} = 1,489 \Rightarrow \begin{cases} e_1 = \text{para } t = 1400 \text{ minutos} \\ e_2 = \text{para } t = 14000 \text{ minutos} \end{cases}$$

De la ecuación (9.4), mencionada en el cálculo de m_v



$$\left. \begin{aligned} e_1 &= 1,489 - (1 + 1,489) \frac{0,056}{1,000} = 1,350 \\ e_2 &= 1,489 - (1 + 1,489) \frac{0,061}{1,000} = 1,337 \end{aligned} \right\} C_\alpha = 1,350 - 1,337 = 0,013$$

Cálculo del índice C_c : Es la

pendiente de la rama virgen de la curva de consolidación (en semilogarítmica), que se adjunta, y que proviene del laboratorio.

$$\left\{ \begin{aligned} a &\Rightarrow e_0 = 1,489 & \log \sigma_0 &= \log 55 \\ \Rightarrow e &= 1,030 & \log \sigma_1 &= \log 550 \end{aligned} \right\} \text{un ciclo log}$$

$$\Delta e = -0,457 \quad \Delta \log \sigma = 1$$

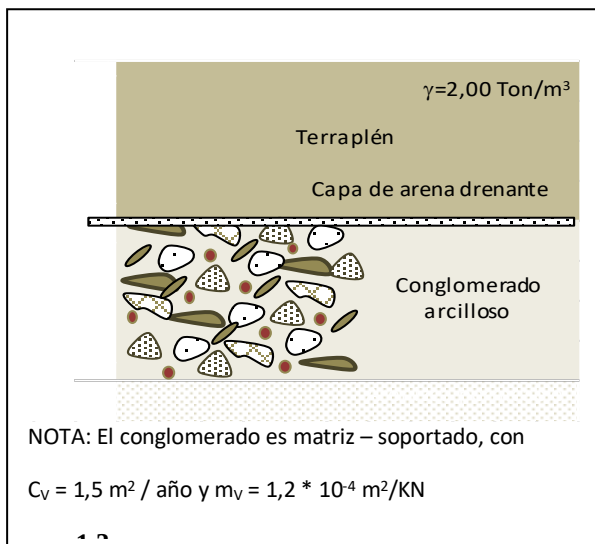
$$C_c = \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma_v} = \frac{-0,459}{1} = -0,46$$

De manera aproximada, con a y b que valen

$$\begin{aligned} \text{coordenadas} \left\{ \begin{aligned} a &\Rightarrow e_a = 1,489 & \log 55 &= 1,74 \\ b &\Rightarrow e_b = 1,350 & \log 110 &= 2,04 \end{aligned} \right. \\ \Delta e &= -0,139 & \Delta \log \sigma &= 0,30 \\ C_c &= \frac{-\Delta e}{\Delta \log \sigma_v} = \frac{-0,139}{0,30} = 0,46 \end{aligned}$$

VALORES TÍPICOS

- Los valores de C_c para arcillas tienden a estar en el rango de 0,2 a 0,8, y para turbas, entre 5 y 10.
- Los valores de C_v en muestras inalteradas, con ϕ 75mm y altura 20mm, en caolinitas, tienden a estar entre 1 y $10 \text{ m}^2 / \text{año}$.
- Los valores de m_v típicos en arcillas suelen estar en el rango $0,001 < m_v < 0,0001 \text{ m}^2 / \text{KN}$.
- La permeabilidad K , en cm/seg, varía así: Para depósitos aluviales, de 0,4 a 0,01. Para depósitos glaciares, de 2 a $1 \cdot 10^{-4}$. Para depósitos eólicos, de 0,3 a $3 \cdot 10^{-3}$. Para depósitos lacustres y arenas uniformes y muy finas, de $1 \cdot 10^{-4}$ a $6 \cdot 10^{-3}$. Para arcillas, menor de $1 \cdot 10^{-5}$.
- Son más permeables las caolinitas ($\bar{K} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ cm/seg}$) que las montmorillonitas ($\bar{K} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ cm/seg}$). Los limos tienen $\bar{K} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm/seg}$.



Ejercicio 9.6.

Un terraplén de 30 m de ancho y 5,00 m de altura, para una vía, que se construirá en 8 meses, se cimenta sobre un conglomerado arcilloso de 4,00 m de potencia y cuyo basamento es una arenisca mal cementada.

- Calcule el asentamiento último del terraplén ($S = m_v \Delta P h$)
- Calcule el asentamiento total S' al fin de la construcción si el proceso es gradual y continuo (Figura E9.6).

Solución. $30 \gg 4$: El ancho del terraplén, comparado con el espesor del conglomerado, garantiza drenaje vertical. La condición del

conglomerado, no clasto-soportado y el valor de C_v que es bajo (para la matriz), garantiza la deformación del conglomerado, por la vía de su matriz arcillosa. La capa de arena drenante, en la base del terraplén, garantiza drenaje doble: $H = H_0 / 2$

Cálculo de la sobrecarga q (terraplén) y los asentamientos S y S'

$$q = \gamma \times Z = \rho \times g \times Z = 2 \times 9,81 \times 5 = 98,1 \text{ KN/m}^2$$

Como el conglomerado arcilloso es un suelo PRECONSOLIDADO, m_v permanece sensiblemente constante en toda la profundidad de la capa, y el valor dado es válido (como promedio) para el rango de esfuerzos aplicado.

$$S = m_v * \Delta P * h = 1,2 * 10^{-4} * 9,81 * 4 = 0,047m \quad S = 47mm$$

Como el terraplén se construye gradualmente, en vez de 8 meses, se toman 4 meses:

$$T_v = \frac{C_v * t}{H^2} = \frac{1,5 * \frac{4}{12}}{2^2} = 0,125 \rightarrow \overline{U_v} = 0,40 \text{ (ábaco } T_v - U_v \text{) (Figura 9.22)}$$

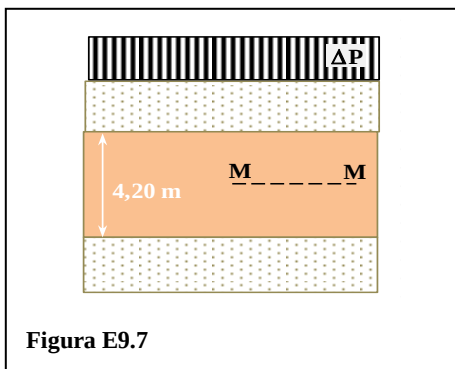
Respuesta: Asentamiento al final de la consolidación $S = 47 \text{ mm}$

$$\text{Asentamiento a los 8 meses:} \quad S' = U_v * S = 0,4 * 47 = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Asentamiento después de la construcción} \quad S'' = S - S' = 28 \text{ mm}$$

Ejercicio 9.7.

Una capa de 4,20 m (H) de espesor se somete a una sobrecarga ΔP de 15,00 Ton/m². La capa drena hacia dos estratos permeables e incompresibles. La carga inicial sobre el plano MM' es 6,00 Ton/m². Del ensayo de consolidación, $e_0 = 0,78$, $C_c = 0,23$; $C_v = 0,0021 \text{ m/día}$.

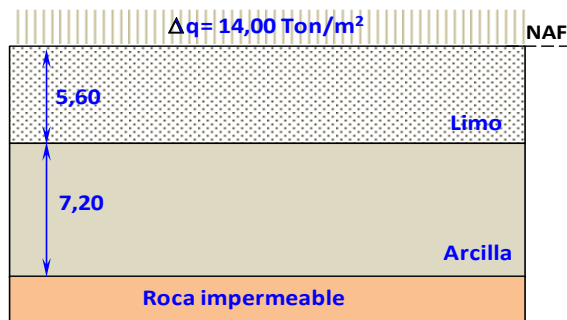


Calcule la magnitud de la consolidación que puede darse y el tiempo requerido para el 90% de la consolidación del terreno.

$$\Delta H = \frac{H * C_c}{1 + e_0} \log\left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}\right) = \frac{4,2 * 0,23}{1 + 0,78} \log\left(\frac{6 + 15}{6}\right) = 0,295m$$

$$t = \frac{T_v * H^2}{c_v} = \frac{T_v \left(\frac{H_0}{2}\right)}{c_v} = \frac{0,848(2,1)^2}{0,0021} = 1780,8 \text{ días}$$

Donde $T_v = 0,848$, para el 90% de consolidación $\overline{U_v}$ (Figura 9.22)

Ejercicio 9.8

Un estrato de una arcilla de 7,20 m de espesor se somete a una sobrecarga ΔP de $12,00 \text{ Ton/m}^2$. La arcilla drena hacia el estrato superior, permeable e incompresible. Al realizar la toma de muestras de los suelos se obtienen los siguientes resultados de laboratorio. El limo arenoso presenta una humedad natural de 35,8 %, la gravedad específica de sólidos es 2,62, el volumen de la muestra para el ensayo de corte directo es 72 cm^3 y el peso de la muestra húmeda es 95 gr y el peso de los sólidos es 89 gr. La arcilla tiene una

gravedad específica de 2,58, el volumen de la muestra saturada es $41,48 \text{ cm}^3$, el peso de la muestra saturada es 56 gr, el peso de los sólidos es 45 gr y la permeabilidad es $1,6 \times 10^{-5} \text{ cm/seg}$. Calcule la magnitud del asentamiento del terraplén por la consolidación que puede darse y el tiempo requerido para que se logre el 90% de la consolidación de la arcilla.

El limo: De la fórmula de la gravedad específica de sólidos se obtiene la siguiente expresión:

$$V_s = \frac{W_s}{G_s \times \gamma_0} = \frac{89}{2,62 \times 1,00} = 33,97 \text{ cm}^3$$

$$V_v = V_T - V_s = 72 - 33,97 = 38,03 \text{ cm}^3$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{38,03}{33,97} = 1,12$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} = \frac{(2,62 + 1,12)}{1 + 1,12} = 1,76 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

La arcilla:

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} = \frac{2,58 + 3,534}{1 + 3,534} = 1,35 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

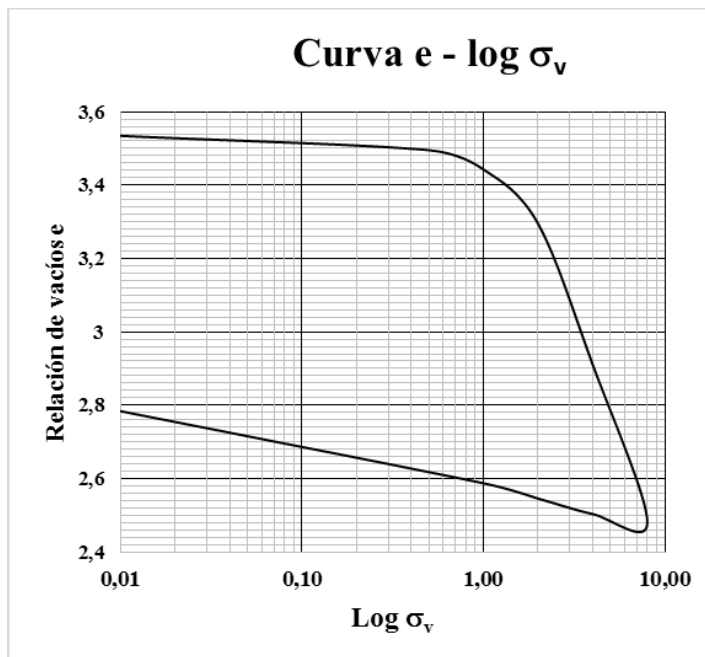
Se hace el cálculo de las presiones geoestáticas antes de considerar las cargas impuestas por el terraplén, aplicadas en el centro de la capa de arcilla, posteriormente se calculan los esfuerzos finales debido a la presión del suelo y del terraplén.

Punto	H	γ_{sat}	σ_{VT}	U	σ'_{v0}	Δq	σ'_{vF}
	m	ton/m ³	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton/m ²
Limo	5,60	1,76				12,00	
Contacto superior			9,86	5,60	4,26		16,26
Centro de la arcilla	7,20	1,35	14,72	9,20	5,52		17,52
Contacto inferior			19,58	12,80	6,78		18,78

Los resultados del ensayo de consolidación y la curva relación de vacíos y logaritmo de carga vertical es presentada a continuación y con estos se obtienen el coeficiente de compresibilidad volumétrica de la arcilla.

**RESULTADO DE ENSAYO
DE CONSOLIDACIÓN DE
LA ARCILLA**

Esfuerzo (Kg/cm²)	e
0,01	3,53448
0,50	3,49556
1,00	3,44296
2,00	3,29492
4,00	2,91084
8,00	2,48141
4,00	2,50341
2,00	2,54575
1,00	2,58742
0,01	2,78392



Con los esfuerzos inicial y final, aplicados en el centro del estrato de arcilla se procede al cálculo del asentamiento por efecto de la consolidación de la arcilla.

Punto	σ'_{v0} Kg/cm²	e	σ'_{vF} Kg/cm²	e	Δe	q Kg/cm²	a_v cm²/Kg	m_v cm²/Kg	S cm
Limo									
Centro de la arcilla	0,55	3,49	1,75	3,34	0,15	1,2	0,125	0,0278	24,05

Cálculo del tiempo para el 90% de la consolidación de la arcilla.

$$c_v = \frac{K}{\gamma_w \times m_v} = \frac{0,023}{0,001 \times 0,0278} = 827,60 \text{ cm}^2/\text{día}$$

$$t = \frac{T_v \times H^2}{c_v} = \frac{0,848 \times (720)^2}{827,60} = 531,2 \text{ días}$$

El tiempo para lograr el 90% de la consolidación es 1,46 años.

EXPANSIVIDAD DE SUELOS.

Existen suelos que se hinchan cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando esta cantidad disminuye. Debe distinguirse el término POTENCIAL de EXPANSIÓN, de la EXPANSIÓN proviene dicha pérdida de agua.

Las arcillas expansivas producen presiones verticales y horizontales afectando las cimentaciones, empujando muros y destruyendo pisos y tuberías enterradas, con esfuerzos que superan los 20 Kg/cm², ocasionalmente. En las vías se presentan ascensos y descensos que afectan su funcionamiento. También, estos suelos expansivos se retraen y los taludes fallan.

MECANISMO DEL HINCHAMIENTO (arcillas 2:1) O ENTUMECIMIENTO (sinónimo)

- a) Absorción de agua por una arcilla activa (montmorillonita, por ejemplo)
- b) Rebote elástico de las partículas del suelo.
- c) Repulsión eléctrica de los granos de arcilla y de sus cationes adsorbidos.
- d) Expansión del aire atrapado en los poros.

En las arcillas preconsolidadas, por cargas o por desecación, estos fenómenos son factores altamente contribuyentes. En arcillas normalmente consolidadas (o cargadas), los factores dominantes son dos:

- a) Adsorción de agua y
- b) Repulsión eléctrica entre las partículas rodeadas de agua.

Los factores significativos en el estudio de la expansión son los de:

IP = Índice de plasticidad (IP = LL – LP)

LR = Límite de retracción (ω_s para el cual el volumen no varía).

% de partículas con $\phi < 0,001\text{mm}$ (porcentaje en peso).

GE = Grado de expansión en el consolidómetro con carga de 1 lb/in², para una muestra de suelo secada al aire y anegada en la prueba.

$EL = \frac{(V_f - V_0)}{V_i} * 100$: Expansión en volumen de una muestra de 10 cm³ (pasa tamiz No 40 T₄₀) que

se seca al aire y se vierte en una probeta, con agua, de 100 cm³. Cuando toca fondo se mide el nuevo volumen.

PE_x = Potencial de expansión (definido por Seed como el porcentaje de expansión vertical en el edómetro de una muestra compactada, con $\omega_{\text{óptimo}}$ y densidad seca máxima. Se coloca en el edómetro y se anega con una carga de 1 lb / in² = 0,07 Kg / cm²)

El Potencial de Expansión es bajo: 0–1,5%; medio 1,5– 5%; alto 15– 25%; muy alto > 25% (esta es la escala de Seed).

TABLAS DE COMPLEMENTO

CLASIFICACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS (Según Holta – Gibs)

Potencial de expansión	G.E. consolidado	LR	IP	% < 0,001	EL
Muy alto.	> 30%	< 10%	> 32%	> 37%	> 100%
Alto.	20% - 30%	6% - 12%	23% 45%	18% - 37%	> 100%
Medio.	10% 20%	8% - 18%	12% 34%	12% - 27%	50% - 100%
Bajo.	< 10%	> 13%	< 20%	< 17%	< 20%

Compresibilidad Vs. Cc y LL

Compresibilidad	Índice de Compresión Cc	Límite Líquido Wl
Ligera a baja	0 a 0,19	0 a 30
Moderada a Media	0,20 a 0,29	31 a 50
Alta	40	>51

Fuente: Sowers y Sowers. Londres 1978.

MÓDULO EDOMÉTRICO (Kogles y Scheiding)

Material	Turba	Arcilla plástica	Arcilla consistente	Arcilla de media a dura	Arena suelta	Arena densa
Mv (10 ⁻³ cm ² /kg)	1000-200	200-25	25-12,5	12,5-6,7	10 a 5	2 a 1,3

Fuente: Alfred Jumikis, 1965.

Consistencia de Arcillas saturadas V.S. Resistencia a la Compresión Inconfinada

Consistencia	Muy blanda	Arcilla Blanda	Medianamente compacta	Arcilla Compacta	Muy compacta	Arcilla Dura
Qu (kg/cm ²)	< 0,25	0,25 a 0,5	0,5 a 1,0	1,0 a 2,0	2,0 a 4,0	> 4,0

Fuente: Terzaghi y Peck, 1980

CLASIFICACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS (Según Holta – Gibs)

Potencial de expansión	G.E. consolidado	LR	IP	% < 0,001	EL
Muy alto.	> 30%	< 10%	> 32%	> 37%	> 100%
Alto.	20% - 30%	6% - 12%	23% 45%	18% - 37%	> 100%
Medio.	10% 20%	8% - 18%	12% 34%	12% - 27%	50% - 100%
Bajo.	< 10%	> 13%	< 20%	< 17%	< 20%

EXPANSIBILIDAD Y COMPRESIBILIDAD (SUCS)

GW	---	SW	---	ML	-	MH	++
GP	---	SP	---	CL	m	CH	+++
GM	--	SM	--	OL	+	OH	+
GC	--	SC	-			Pt	+++
Escala: +++ = muy alta; m = moderada; --- = prácticamente nula							

LECTURA 9: EL TERRITORIO CALDENSE: ¿UN CONSTRUCTO CULTURAL?

Imagen1: UMBRA: LA ECORREGIÓN CAFETERA EN LOS MUNDOS DE SAMOGA

Para **comprender los conflictos socioambientales** y orientar la gestión del hábitat en **la ecorregión caldense**, resulta fundamental **partir del derecho biocultural** que ampara tanto a las comunidades como a los ecosistemas del territorio, a la luz de las trascendentales decisiones que ha tomado la **Corte Constitucional de Colombia** sobre la materia.

Esta ponencia presentada a nombre de la Universidad Nacional de Colombia y de la SMP de Manizales, y que trata de **las complejas y frágiles relaciones dialécticas de simbiosis y parasitismo** entre las comunidades que lo habitan y los frágiles ecosistemas con su particular estructura ecológica de soporte, **y de los activos**

naturales y bienes culturales de la región, subraya los desafíos caldenses que tenemos para **hacer de Caldas un “constructo cultural”**, bajo la siguiente **premisa**:

Un espacio geográfico en sí, no es el territorio, entendido éste como una construcción social e histórica, donde la cultura es el fruto de la Interacción de dos sistemas complejos: el natural y el social.

El Paisaje Cultural Cafetero como sistema de producción adaptado a las laderas del trópico andino, los ríos **Cauca y Magdalena** con sus comunidades de pescadores y ecosistemas de tierra cálida, y nuestros **páramos y reservas forestales protectoras** que se ubican entre el bosque andino montano alto y el paisaje de glaciares, como bienes patrimoniales, son **tres territorios diferenciados sujetos de derechos bioculturales**, y no simples espacios con valiosos recursos objeto de explotación para satisfacer los apetitos del mercado.

Cultura y medio ambiente

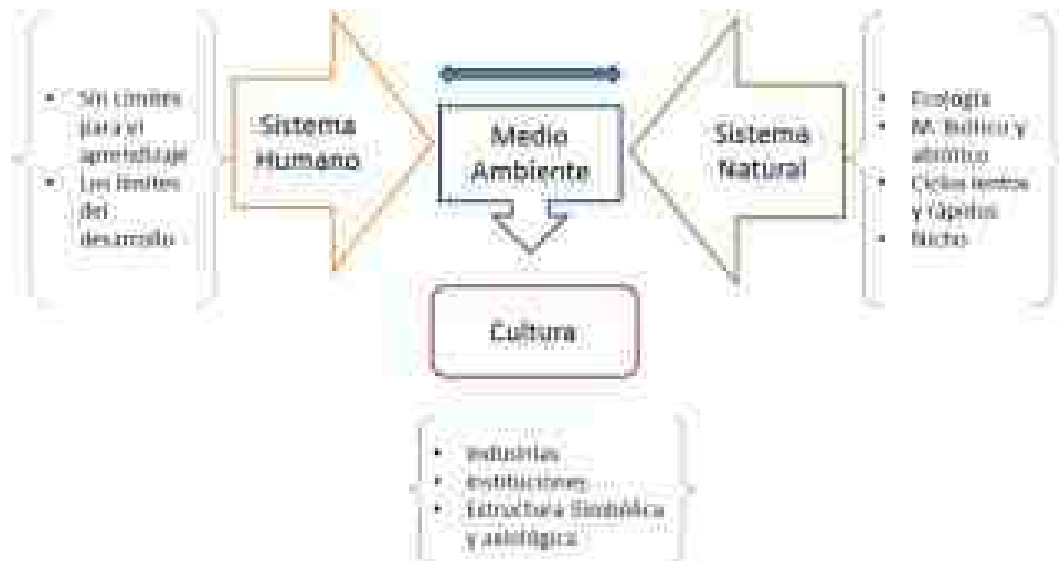


Imagen2: El Medio Ambiente; Claudia Torres Arango.

El Medio ambiente que inicialmente es un medio fundamentalmente natural, **gracias a la cultura**, puede ser transformado y constituirse finalmente en un **medio paranatural**, ecológicamente sólido.

La ecología es **la ciencia que se estudia los seres vivos y su relación con el hábitat**. Un ecosistema, es el conjunto de relaciones entre las comunidades de organismos vivos y el medio ambiente que habitan.

Los **ecosistemas**, pueden ser **acuáticos o terrestres**: los primeros cuando habitan mares, costas, lagos, ríos, y humedales, y los segundos cuando se ubican en el relieve emergido, sobre montañas, planicies, valles, desiertos o glaciares.

De otro lado, **la cultura**, donde se incluyen **saberes, valores y creencias** de un grupo social, incluye los **medios materiales y organizacionales** que desarrollan las comunidades para garantizar la pervivencia y el desarrollo.

En el caso caldense, estos temas son relevantes por dos razones: desconociendo el carácter mestizo del territorio, **hemos invisibilizando el fundamental aporte cultural de nuestras comunidades negras e indígenas** en un propósito perverso de “blanquear la raza”, y la producción literaria de la provincia, e igualmente venimos degradando el medio ambiente presionando la estructura ecológica del territorio, a tal punto que en el Índice de Competitividad Nacional 2019, con una nota de 3,63/10 **en sostenibilidad ambiental, por**

Caldas 1

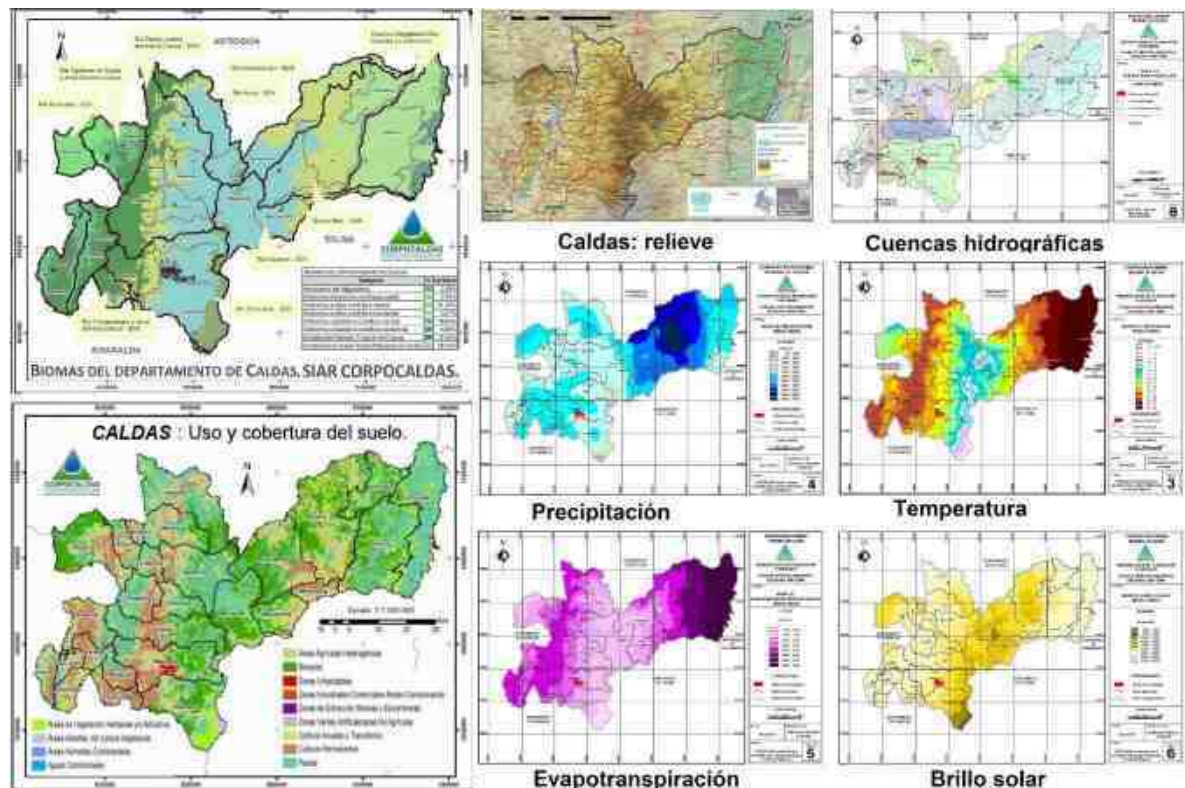


Imagen3: Caldas: Biomas, Usos del suelo, y Mapas de Relieve y vías, cuencas hidrográficas y variables climáticas. Corpocaldas

Caldas, departamento que le aporta el **1,6% al PIB de la Nación**, con una superficie de **7888 km²**, una altitud media de **3190 msnm**, tiene una población de **993 870 habitantes**, de los cuales 270 mil son rurales y 300 mil viven en las cabeceras menores.

Gracias a su relieve y ubicación geográfica, además del sistema hidrográfico constituido por numerosos ríos y quebradas que nacen en las cordilleras Occidental y Central, cuenta con **dos vertientes que drenan a las cuencas del Magdalena y del Cauca**.

Entre las **zonas de recarga**, sobresalen los bosques altoandinos y páramos en las altas cordilleras (mesa de Herveo, bosques de palma de Cera en Marulanda-Samaria, Cerros de Tatamá y Caramanta), el Parque Natural de los Nevados, la Selva de Florencia y el Alto del

Nudo, como ecosistemas que alimentan **tres acuíferos**: el del valle del Magdalena, el del valle del Risaralda y el de la región de Santágueda.

Dado el carácter escarpado del territorio, mientras en el oriente caldense existe un potencial hídrico excedentario, contrariamente entre el km 41 y La Pintada **no existe agua subterránea** por el alto grado de deforestación y presencia de rocas impermeables.

Siendo **su principal acuífero el valle del Magdalena Centro**, la cuenca más degradada es la del **Río Chinchiná tributario del Cauca**, como cuna de una **conurbación de 550 mil habitantes**.

Caldas 2

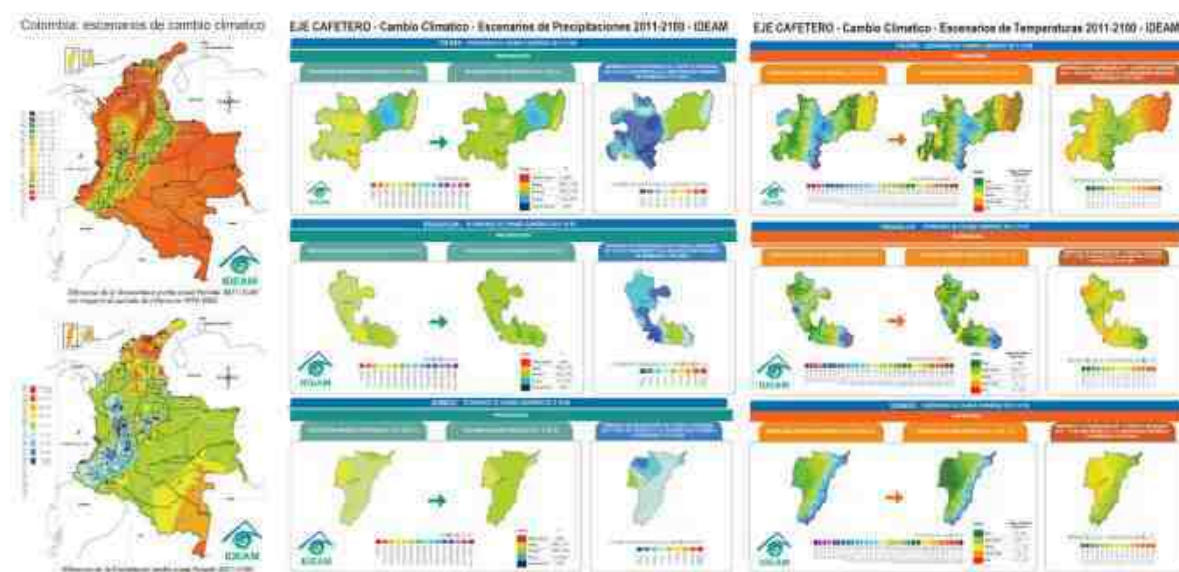


Imagen4: Escenarios de Cambio Climático 2011- 2100, para Colombia y el Eje Cafetero. Ideam 2015.

Aunque **en promedio las lluvias anuales varían entre 2000 y 3000 mm**, las precipitaciones **alcanzan los 5000 mm anuales en el Nor-Oriente caldense** y sólo **1500 mm al año en el Centro-Norte**, sobre el corredor del Cauca y la alta cordillera.

En cuanto a coberturas según Corpocaldas, de una extensión de 744 mil Ha, las áreas verdes del departamento en 2010 eran: 163 mil Ha en bosques (22%), 265 mil Ha en cultivos (36%) y 300 mil Ha en pastos y rastrojos (40%), **tres cuantías que cubren el 98% de su escarpado y deforestado territorio**.

En el **análisis de vulnerabilidad** para el departamento dado el estado de las coberturas, **habrá que intensificar acciones para enfrentar la amenaza del cambio climático**, ya que, según el IDEAM para el fin de siglo, **la temperatura podrá aumentar en**

2,4°C en promedio, con valores mayores en la cuenca del Magdalena y en el cañón del Cauca,

Y de acuerdo a los escenarios proyectados, **la precipitación que se incrementará en la cuenca del Cauca,** en el pie cordillerano, desde Villamaría y Manizales hasta Salamina, alcanzará **máximos de un 30% y 40%. En el Oriente, no se esperan incrementos en las precipitaciones.**

La sociedad



Imagen5: Personajes de los Mundos de Samoga.

Los habitantes de la “Tierra del café”, poseemos **una cultura donde inciden determinantes de la caucanidad y la antioqueñidad**, relacionados con los modos de producción de la minería en **la Colonia** y con los de la actividad agraria que florece en **el siglo XIX**, en ambos escenarios.

Primero, en **la minería aurífera** los modos de producción fueron diferentes: en la Provincia del Cauca se soportaba en la **esclavitud**, mientras en la de Antioquia dependía del trabajo del **minero independiente**. Segundo, mientras el modelo agrario caucano era el latifundio soportado en un **régimen de servidumbre**, el modelo de producción cafetera al sur de Antioquia, surge del **trabajo asalariado** y del minifundio propiedad del colono.

No obstante, el cafetero también se enriquece del **aporte librepensador del caucano de clase media**, fruto de una apertura cultural que lo orienta al comercio: el payanés que al explotar el oro de Barbacoas recibía información de la Capitanía de Panamá, también recibía información del Virreinato del Perú por depender de Quito, e información de la Nueva Granada con quien finalmente comerciaba.

Pero tras décadas de verdaderas proezas cafeteras, **abandonamos un modo de producción que engrandeció a Colombia entre 1900 y 1970, por apostarle a la Revolución Verde** con el monocultivo del café y renunciar a la caficultura orgánica: los campesinos con solo dos años de escolaridad, al no poder asimilar el modelo financiero y tecnológico de la caficultura moderna, vendieron su tierra para emigrar a la ciudad generando una inversión demográfica en la que el país rural se urbaniza.

Historia regional



Imagen6: Paisaje cafetero. Maestro Luis Guillermo Vallejo

Históricamente, **este territorio biodiverso, pluriétnico, mediterráneo y multicultural ubicado en el trópico andino**, desde la fundación de Manizales hasta cerrar el siglo XX ha experimentado cambios estructurales, así: **un primer período de supervivencia** que parte de la fundación de Manizales, **otro de crecimiento económico** en el que se crea el departamento, **uno más de verdadero desarrollo** con sabor a café, **otro de profunda crisis** entre 1970 y final del siglo; y por último el actual de crisis después de abandonar la sociedad industrial de ayer. Veamos:

Culminado **el primer período caracterizado por una economía de subsistencia**, en el que la aldea fundacional emplazada sobre una retícula ortogonal, pasa por las confrontaciones armadas entre Antioquia y Cauca, aún con la idea de que la propiedad era un derecho natural según la Constitución de 1886, entramos a una **segunda fase de acumulación** favorecida por el fin de la Guerra de los Mil Días (1903) en la que se crea el departamento (1905), ya que gracias al café se cambian los caminos de arriería por modos de transporte como el cable aéreo (1923), el ferrocarril (1927) y los vapores por el Cauca y Magdalena para exportar el grano.

En este **segundo período que cierra tras la gran crisis de 1929**, en el que se dan los pavorosos incendios de los años 20 y evoluciona la arquitectura vernácula del bahareque gracias a la apertura cultural que acompaña la actividad exportadora, el meridiano económico de Colombia cruza por Manizales, y se crea además de la cámara de comercio (1913) la SMP (1912), cuando según el censo de 1912 Manizales contaba con 34.720 habitantes, Pereira con 18.418 y Armenia con 13.720.

Vendrá luego **la tercera etapa de verdadero desarrollo**: el período de las “chivas y jeepaos” en el que los beneficios de la caficultura se irrigan al campo, para abrir caminos, electrificarlo y dotarlo de acueductos, escuelas y puestos de salud gracias a los Comités de Cafeteros.

Y finalmente, con la revolución verde además de perder la salud del suelo y del agua, al sustituir el sombrío y la biodiversidad por monocultivos y agroquímicos, conforme destruimos los elementos tangibles e intangibles de nuestro patrimonio cultural y natural, la Colombia agraria se fue urbanizando.

El territorio

Para **desarrollar la identidad del Eje Cafetero como región biodiversa y pluricultural**, el Museo Interactivo Samogá de la U.N de Colombia Sede Manizales ha propuesto “Siete mundos”, que interpretan el territorio como una construcción social e histórica. En dicha propuesta, mientras tres mundos, los del arte, la cultura y la tecnología, contemplan las estrategias necesarias para dar respuesta a las problemáticas de la ecorregión a partir de su potencial natural y cultural, para su descripción se presenta el con cuatro subregiones, recurriendo a una analogía con los cuatro elementos aristotélicos, así:

- Por **el Mundo de la Tierra, Pachamama**, que recoge el occidente minero con Anserma, Marmato y Riosucio, un lugar de marimbas, de resguardos, de carnavales y de negritudes, y además una subregión panelera con arquitectura de tapia pisada y vocación minera: en el oro de Marmato y Riosucio existe más novela y poesía que en el café; para este territorio triétnico colonial, la música es el currulao.

- Por **el Mundo del Agua, Bachué**, en la subregión magdalenense con su recurso hídrico excedentario; es el oriente caldense, tierra de ranchos de hamacas, de chinchorros, de subriendas de bagres, nicuros y bocachicos, del petróleo de Barranca, de la historia de los vapores por el río y de la Expedición Botánica. Es la subregión del bunde, donde sobresalen el bosque de Florencia y los humedales del Magdalena.

- Por **el Mundo del Aire, Yuruparí**, donde el aroma de la tierra del café cubre los dos ejes de la colonización antioqueña; es la región Cafetera propiamente dicha, que empieza en Neira y llega hasta el norte del Valle; es la tierra de las chivas, del bahareque de guadua, de los cables aéreos, de los Ferrocarriles Cafeteros, del bambuco y la música de carrilera. En este territorio de guaduales y yarumos, la gastronomía se relaciona con el plato montañero.

- Por **el Mundo del fuego, Chiminigagua**, para la alta cordillera con sus volcanes y las fértiles tierras de San Félix-Murillo; un espacio geográfico que tiene sus propios íconos en el cóndor, el pasillo, la ruana de Marulanda, los caminos empalizados, la palma de cera, el pasillo y el sombrero aguadeño. Es el territorio del páramo y el bahareque “parado” o entablado.

Pachamama, el mundo de la tierra



Imagen7: Íconos del Mundos de la Tierra. Samoga.

Este territorio de la vertiente occidental del cañón del Río Cauca, fue reconocido desde la Colonia por su **vocación minera**. Y a pesar de que la comunidad indígena se creyó extinguida en 1625, **existen vestigios de la cultura Umbra**, diferente a la Embera, aún viva. Allí llegan legiones de esclavos africanos cuando los Cartamas fueron exterminados; y luego aparecen los ingleses para asegurarse con el oro el pago de los empréstitos de la independencia. En el siglo XVI España explotaba **la mina aurífera más grande del orbe, localizada en el cerro Quiebralomo** por entonces jurisdicción de la Gobernación de Popayán, donde existían dos parcialidades indígenas vecinas al lugar: Cañamomo y la Montaña.

Riosucio, es el núcleo cultural más relevante del territorio, y de la artesanía folclórica más añeja del departamento. Brillan los artesanos de la alfarería en Cañamomo y Lomapieta, de la cerámica en Portachuelo, de la cestería de bejuco en la Zulia y El Salado en la Montaña y en San Lorenzo, de las esteras de enea y caña brava de la Montaña, del cogollo de la caña brava y de la sombrerería en Travesías y Pasmí en San Lorenzo, y de las tallas en palo de naranjo de Tumbabarreto.

Sabemos que **unas cadenas productivas con identidad cultural y servicios ambientales de productores organizados, expresando los íconos culturales de la región** como tierra de resguardos y negritudes, con sus **comunidades indígenas en Anserma y Riosucio y ancestros afrodescendientes en Marmato y Guamal**, son factores para aprovechar el potencial humano.

Bachué, el mundo del agua



Imagen8: Íconos del Mundos del Agua. Samoga.

Yuma ("río amigo") o Huanca-hayo ("río de las tumbas"), bautizado en 1501 por Bastidas, Río de la Magdalena, fue a lo largo de cuatro siglos y medio el principal medio de transporte en Colombia y el eje de desarrollo nacional. **Urge una declaratoria que priorice al río Magdalena como uno de los escenarios más representativos en la historia del país, a partir del concepto del territorio como sujeto de derechos.**

Si su cuenca es el hábitat donde se dan nuestras relaciones con el bioma andino tropical, también el río, pese a haber sido fundamental como ruta de acceso para la ocupación del territorio, y como medio para la consolidación de la nación durante el siglo XIX, hoy como víctima del olvido se encuentra degradado y contaminado.

Amparar sus derechos ambientales, es darles primacía a sus 30 mil pescadores, y a los humedales y bosques secos que lo circundan, no sólo para ponerle límites a las intervenciones que buscan establecer un canal navegable para que no alteren su vaguada ni los humedales como ecosistemas vitales, sino también para ordenar el cumplimiento de las acciones que demanda su recuperación integral.

Gracias al compromiso, trabajo y conocimiento ancestral aportados por las comunidades de base del Magdalena Centro de Colombia, y al acompañamiento de los actores estratégicos de dicha región, **las acciones emprendidas para resolver los conflictos socio-ambientales en este territorio vecino al Río Magdalena, por el PDP-MC, se vienen transformando en hechos y en lecciones de Paz y de esperanza,** aportados por sus propios habitantes.

Yuruparí, el mundo del aire



Imagen9: Íconos del Mundos del Aire. Samoga.

El Paisaje de la Ecorregión Cafetera tiene una importancia fundamental, no sólo para **la apropiación de los procesos de construcción de este Territorio biodiverso, multicultural y mestizo de Colombia, y de la identidad cultural,** sino también **como instrumento para enfrentar sus desafíos socio ambientales,** y para el fortalecimiento de la economía, lo que incluye la caficultura y el turismo, en beneficio de la economía campesina.

Aspectos relevantes de **la historia económica regional del Eje Cafetero,** tales como la fundación de Manizales ocurrida en el marco de la **colonización antioqueña;** los impactos de los **ferrocarriles cafeteros;** la irrigación de los beneficios del café a las zonas rurales, y los impactos de la **Revolución Verde** en la ecorregión cafetera, son **tres hitos que actúan como telón de fondo** para enunciar las problemáticas socioambientales de la ciudad y la región.

Resulta necesario **diferenciar una caficultura autárquica nutrida de elementos culturales, de otra caficultura de corte agroindustrial** no amigable con el medio ambiente.

La primera de carácter artesanal donde el valor agregado alienta a unas comunidades rurales que le han apostado a su organización como base para su cadena productiva y la producción orgánica limpia; y **la segunda, intensiva en productos de base química**, para enormes volúmenes de café pergamino, en la que se generan utilidades para quienes controlan el mercado **a costa de la biodiversidad**.

Con la Revolución Verde, **nuestros campesinos que no asimilaban los paquetes financieros y tecnológicos de la nueva caficultura**, atraídos por el espejismo de la ciudad **migraron para vivir otra crisis**: la del empobrecimiento y notable desempleo que arrincona a las masas urbanas de las capitales cafeteras, **entre la informalidad y la delincuencia**.

Chiminigagua, el mundo del fuego



Imagen10: Íconos del Mundos del Fuego. Samoga.

En la región San Félix-Murillo sobre la alta cordillera, **una tierra de arrieros donde empalizadas entre neblina y pantanos** imponen los **desafíos del páramo y del bosque altoandino**, también el cambio climático, donde las mayores **precipitaciones que tendrán incrementos de hasta el 40%**, irán acompañadas de un incremento de **la temperatura que en Caldas para finales de siglo podría ser entre 1°C y 3°C**, según el lugar, reclama investigación e instrumentación de la amenaza, cambios en los modelos socioambiental, agropecuario y de ocupación del territorio, y políticas públicas para una planificación que incorpore **la adaptación al cambio climático y la gestión integral del riesgo**.

En el territorio, **urge preservar el PNN de los Nevados y las Reservas Forestales del territorio**, por ser fundamentales para la conservación de la biósfera como hábitat de especies endémicas y en peligro de extinción, y ecosistemas con funciones reguladora del patrimonio hídrico y del clima.

No siendo despreciable el impacto de los fenómenos climáticos exacerbados para el medio urbano, para dimensionar su perjuicio en el transporte rural y la economía campesina, esta puede ser una cadena típica de eventos: **al arreciar las lluvias, se incrementarán las tasas de erosión y remoción masal** de las laderas de fuerte pendiente, conforme avance la **socavación de los torrentes**, causando la **sedimentación de ciénagas y demás humedales** en los valles de salida de los ríos.

Además, **el riesgo asociado a volcanes como el Ruiz y Cerro Bravo**, que por sus coeficientes explosivos difieren por su alcance y tipos de erupciones así tengan en común un carácter explosivo, dado el cambio climático habrá que considerar **el impacto sobre los ecosistemas asociados a un cambio altitudinal de 170 m por grado de temperatura**.

Mundos: Chía, Bochica y Chibchacum



Imagen11: Íconos de los Mundos del Arte, la Ciencia y la Tecnología. Samoga.

Los tres mundos restantes, de las artes (Chía), la ciencia (Bochica) y la tecnología (Chibchacum), subrayan **la importancia de la ciencia, la tecnología y la identidad cultural, como factores clave para resolver la brecha de productividad e ingresos** que sume en la pobreza a cerca de 170 mil caldenses que habitan en los medios rurales y 300 mil más de las cabeceras menores.

Cuando se enuncia **el desarrollo sostenible y sustentable, se expresa en términos de tres pilares: el ecológico, el social y el económico**; por lo que la cultura como campo que abarca a la ciencia, donde naturaleza y sociedad son variables culturales con relaciones dialécticas, siempre ha escapado al ser olvidada como determinante fundamental del desarrollo. **En las universidades donde se sabe de Ciencia y Tecnología, poco se conoce de los Saberes Ancestrales.**

El bajo nivel educativo, va más allá de la baja calidad de la educación: se relaciona con **un modelo educativo desmotivante, pensado para la sociedad industrial de ayer y no para esta época del protagonismo del conocimiento**. Dicho modelo centrado en las ciencias naturales, las matemáticas y el lenguaje, no desarrolla el talento humano al dejar en un segundo plano las humanidades y olvidarse de las artes, la cultura y el desarrollo del cuerpo humano.

En conclusión, debemos llegar a las metas propuestas en el documento **"Colombia Al Filo de la Oportunidad"** que proponía la Misión de Ciencia Educación y Desarrollo en 1994, cuyo objetivo era **avanzar en una cultura científica, bajo el presupuesto de que sin ciencia, tecnología e innovación no hay desarrollo sostenible,**

PCCC



Imagen12: Los Mundos de Samoga: Diseñadora Visual, Carolina Calderón Franco.

Se requiere un paisaje resiliente en este territorio biodiverso, multicultural y mestizo deforestado, cuya problemática pasa por la adaptación al cambio climático y por la crisis de la economía rural campesina de base artesanal: la clave estaría en **el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia PCC**, por representar una oportunidad para hacer de dicho instrumento un **factor de desarrollo rural integral en 47 municipios** en su área principal y 4 más de su área de influencia, ya que allí se comprenden 340 mil hectáreas de la zona rural en 858 veredas cafeteras donde habitan cerca de 500 mil personas.

Dada la disrupción del modelo cafetero, para lograr su desarrollo rural y adaptarlo al cambio climático: **¿por qué no declarar sujeto de derechos bioculturales el territorio del Paisaje Cultural Cafetero bajo los preceptos de la declaratoria de la UNESCO?**

Lo anterior permitiría **recuperar la vida de las comunidades rurales y la reconversión de su modelo agrario cafetero, convertido en una agroindustria que ha destruido la biodiversidad**, para abrir un claro de luz en este **sector cuya crisis se explica por no haberle incorporado valor agregado al grano de oro**.

Con el PCC la suerte de los pequeños poblados cafetaleros dependerá de **la salud del suelo y del agua**, del sombrío para **la biodiversidad**, del transporte rural, del bahareque como arquitectura vernácula, del **bioturismo**, y de la venta de servicios y artesanías que expresen nuestro patrimonio cultural y natural.

La gran cuenca del Magdalena

Las declaratorias que han priorizado a los ríos **Cauca y Magdalena** como sujetos de derechos, no solo reconocen dos escenarios representativos en la historia del país, sino que también **blindan a las comunidades de pescadores y ecosistemas** presentes en sendos territorios, de los impactos asociados a la devastadora acción de la infraestructura: véase el caso de **Hidroituango** donde la presa interrumpiendo la conectividad biológica, afecta a los pescadores aguas arriba y aguas abajo.

Habrá que tener en cuenta que **en la cuenca hidrográfica de 63.300 km , el complejo territorio que baña el río presenta tres regiones:**

Las dos primeras en la región Andina, pasando por dos escenarios antagónicos: después de salir de la cuenca alta y recorrer desde su nacimiento en la laguna del Buey del Macizo Colombiano hasta Salvajina, continuar **por la fértil región natural el valle geográfico del río entre Suárez (Cauca) y la Virginia (Risaralda) donde la corriente de suave pendiente es meándrica**, entra a la cuenca media al pasar por el Eje Cafetero y Antioquia, donde el río que incrementa su pendiente y se encañona con su cauce tortuoso no es navegable; para finalmente entrar a la cuenca baja desde Tarazá (Antioquia) y bañar en el Bajo Cauca tierras de Sucre y Bolívar hasta su desembocadura sobre el Brazo la Loba del Magdalena, en la Mojana.

Igualmente, **se deberá hacer una segunda diferenciación para separar las cabeceras urbanas ribereñas de primero y segundo orden, del resto de cabeceras:** Los municipios ribereños de primer orden son 87 y los de segundo orden 103. Y las ciudades capitales que se encuentran dentro del área de influencia geográfica del Río Cauca son: Cali, Manizales, Medellín, Pereira y Popayán.

El PNN de Los Nevados

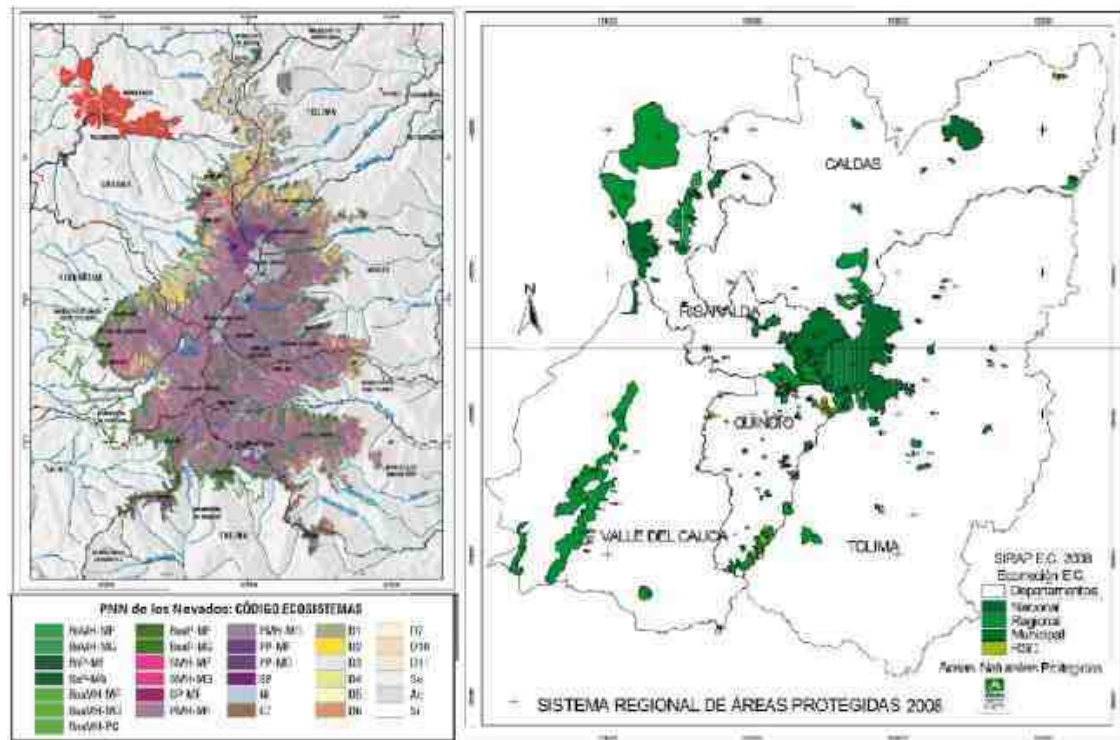


Imagen14: PNN de los Nevados, y SRAP –Eje Cafetero.

Cuenta la Ecorregión Cafetera, con cuatro Parques Naturales Nacionales PNN: el de los Nevados, el Tatamá, la Selva de Florencia, y el Santuario de Fauna y Flora Otún-Quimbaya.

El Sistema Regional de Áreas de Protegidas, **SIRAP de la Ecorregión Cafetera en jurisdicción de 92 municipios de cinco departamentos** – Eje Cafetero, N de del Valle del Cauca y NW de

Tolima-, conformado por las CAR y **soportado en El Nodo Regional del Cambio Climático del Eje Cafetero creado hace 10 años**, es un **proceso de planeación participativa** que incorpora **conceptos de ordenamiento territorial** para la gestión ambiental y un modelo de desarrollo sostenible, desde el año 2000 ha venido vinculando el tema de cambio climático en su plan de acción.

No obstante, a pesar de la **Ley 99 de 1993**, cuyo Art.1. N4 dice: "Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos, serán objeto de protección especial", **este valioso patrimonio está amenazado**, no sólo por el cambio climático, sino también por los históricos pasivos ambientales y presiones actuales de naturaleza antropogénica.

Opciones de Caldas



Imagen15: San Félix, Caldas. <https://genteyalgomas.files.wordpress.com>

Mientras **la participación en el PIB del Eje Cafetero, equivale al 4% del PIB nacional**, la de Caldas que es del 1,6% muestra la siguiente estructura: 55% para el sector terciario, 25% para el sector secundario, 14% para el sector primario y 7% para los impuestos. Aún más, **el PIB departamental entre 2004 y 2014 creció en promedio 2,6%, contra una media nacional anual del 4,8%** para el mismo período.

Cabe entonces preguntarse ¿en cuáles sectores y actividades económicas, tienen la región y Caldas posibilidades de crecimiento, con qué estrategias y para cuáles objetivos? Para empezar, eso es posible si se parte de los siguientes elementos: a- del **potencial minero-energético** de Caldas señalado en el respectivo Plan 2006-2016, subrayado por 120 explotaciones y depósitos de minerales de 220 que posee el Eje Cafetero, según el Inventario Minero de Ingeominas (1972), y por **un recurso hidroenergético aprovechable equivalente a 2000 Mw**, del cual solo se ha aprovechado la cuarta parte; b- de **la posición geoestratégica de La Dorada y del Km 41** para la implementación de un sistema intermodal de carga en la región Andina, si se articulan ambos escenarios mediante el modo ferroviario; y c- de los beneficios derivados de **la declaratoria del Paisaje Cultural Cafetero PCC** como Patrimonio Cultural de la Humanidad, como solución a la ya profunda crisis cafetera y como detonante del turismo regional.

Sobre **la importancia de extender la hidrovía a Purnio**, por ser un sitio no inundable que integraría carretera, ferrocarril e hidrovía, con lo cual el Puerto Multimodal de la Dorada movilizaría 6 millones de toneladas anuales, es que el PIB de Caldas crecería 1,2% del PIB nacional, y un 0,4% más, **con lo cual el PIB se duplicaría**, si se incluyen ocho plantas minero-energéticas propuestas en el Plan Minero de Caldas 2010-2016 por Gabriel Poveda Ramos, que se señalarán más adelante.

Turismo en Caldas

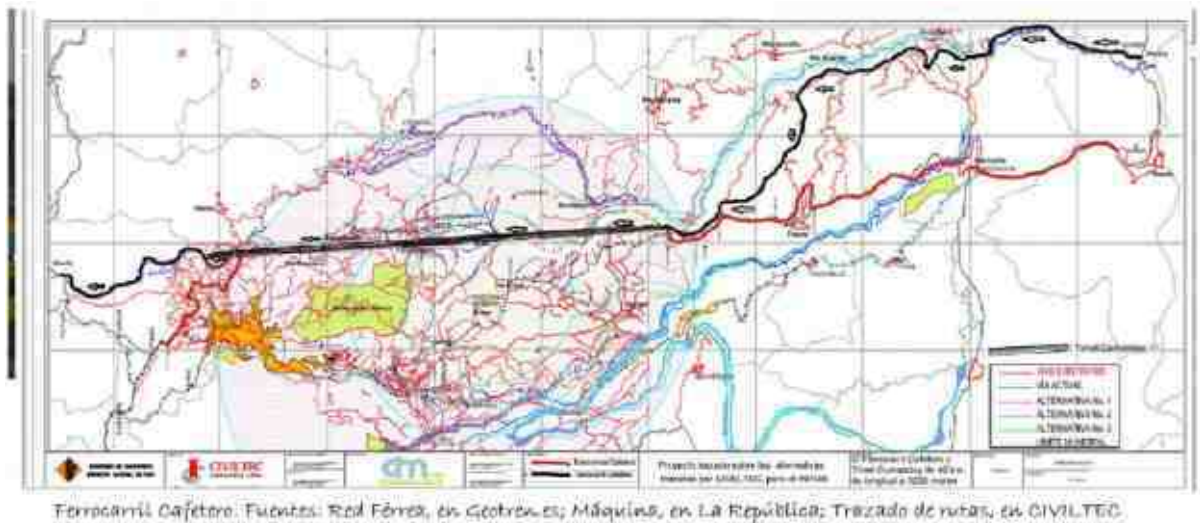
En primer lugar, Caldas deberá **potenciar el sector terciario**, donde la principal barrera podría ser el factor educativo, dado que el **nivel de escolaridad** de nuestra población sólo alcanza a superar **los 4 años en la zona rural y los 10 años en la urbana**; y a futuro, el **fortalecimiento de la economía verde y la economía naranja**, gracias a la **expansión de las TIC** cuya red cubre el departamento: más oportunidades para acceder a programas de formación superior desde la provincia, y para la oferta de bienes y servicios desde dichos lugares. Mientras en Colombia **el aporte del turismo al PIB 2005 fue del 2,3%, a nivel mundial ese aporte llegó al 10,6%** generando uno de cada ocho empleos. Igualmente, **la economía naranja tiene una participación del 3,3% en el PIB**, cuantía cuatro veces superior a la del **cultivo del café (0,8%)**. **El Paisaje Cultural Cafetero PCC podría ser un factor detonante** para una meta de mediano plazo en el sector turístico del 10% en el PIB de la ecorregión, con dos componentes: **la línea ecológica y el área de la salud**, mediante **estrategias que articulen esfuerzos regionales**.

A modo de balance, **este clúster de turismo Regional para Caldas**: 1- El **Termalismo** tanto en el cañón del Chinchiná como del Río Claro. 2- **La ruta del PNNN**, con sus volcanes y paisajes del ecosistema de Páramo. 3-El patrimonio Arquitectónico de **Neira, Salamina y Aguadas**, soportes de la declaratoria patrimonial del PCC. 4- El Carnaval de Riosucio el Encuentro de la Palabra y los jolgorios del alto Occidente. 5- El **Centro Histórico de Manizales** con su arquitectura republicana, museos y monumentos. 6- La ruta de la **Expedición Botánica y de los Vapores en el Magdalena Centro**, entre Mariquita- Guaduas y Honda -La Dorada. 7- Los bosques alto andinos para el **avistamiento de aves** en Río Blanco, El Recinto del Pensamiento, Alto Corozal y la reserva de La Chec. 8- **El Nodo Cafetero Chinchiná – Palestina** con Buencafé Liofilizado de Colombia, el Centro de Investigaciones del Café (CENICAFE), la Cooperativa de Caficultores y las grandes haciendas y pequeñas fincas cafeteras. 9– **El Bosque de Palmas de Cera en el Valle de la Samaria** de San Félix. 10- **El “balcón del paisaje” del occidente caldense**, en Belalcázar con su monumento al Cristo Rey, en San José y en Risaralda. 11- El Parque Natural **Selva de Florencia** entre Samaná y Pensilvania.

Plataformas logísticas

Y en segundo lugar, las **plataformas logísticas** imbricadas con los sectores primario y secundario, **aprovechando la posición geoestratégica del territorio**. En Purnio y en La Esmeralda, además de **carbón** en las vecindades, existen **subestaciones de 320 mil Kw**, necesarias para el desarrollo de **industrias químicas de base minera**, además de **agua suficiente**.

Finalmente, estos dos desarrollos que deben ser paralelos para lograr sinergias regionales, deben partir de sendas **asociaciones de municipios**: una entre Honda, La Dorada y Puerto Salgar; y la segunda, entre las potenciales áreas metropolitanas de Pereira y Manizales.



Ferrocarril Cafetero, cruzando la cordillera Central por el Túnel Cumanday de 42 km a 1250 msnm, para unir La Dorada con el Km1. SMP Manizales-UN de Colombia.

Además del aprovechamiento del **manganeso de Apía y Viterbo**, el yacimiento minero-metálico más importante de Caldas, están las jaguas de los beneficios y de **las gangas de las explotaciones auríferas del occidente** y de otros lugares, para obtener apreciables cantidades de sulfuros de zinc, de plomo, de hierro, de cobre, de antimonio y de arsénico, o zinc metálico y sus derivados; de las **arenas silíceas de alta pureza en cuarzo (SiO_2)**, existentes **en Pueblo Rico y el Valle del Cauca**, y posiblemente en Riosucio-Supía-Quinchía, explotadas y complementadas con otras de Antioquia y Tolima se podrían implementar industrias de transformación para silicato de sodio, sílice-gel y carburo de silicio; y de **los yacimientos de calizas de La Victoria-La Dorada-Río La Miel, y de Neira-Aranzazu-Salamina**, una industria de carburo y fosfatos fertilizantes que en un plano de mayor nivel de desarrollo daría origen a plantas de acetileno, cianamida, cloruro químicamente puro y cemento.

El Ferrocarril Cafetero articulando la hidrovía del Magdalena y el Corredor Férreo del Cauca, gracias a una reducción significativa de los costos del transporte por la vía de los fletes, de conformidad con lo señalado en el citado **Plan Minero de Caldas**, la Ecorregión Cafetera puede emprender un desarrollo de industrias pesadas destinadas a transformar la riqueza del subsuelo, haciendo uso del **potencial carbonífero e hidroenergético del territorio, y de los yacimientos propios y vecinos**. Habrá que prospectar y valorar estos recursos para garantizar por 25 años el suministro de materias primas.

¿Y la economía marrón qué?

- También la actividad productiva, para un desarrollo **pensado para la sociedad del conocimiento y no para la sociedad industrial de ayer**, exige que se centren los esfuerzos mancomunados de empresarios, gobierno y academia para aprovechar las **ventajas naturales y culturales de la Ecorregión**, en la construcción de sinergias entre la nueva economía de las TIC, la economía verde y la economía naranja, con la economía del conocimiento soportada en centros de investigación con la Universidad Pública a la cabeza.

•Con el advenimiento de una **cuarta revolución industrial**, proceso histórico que implica cambios trascendentales al introducirse **nuevas tecnologías** relacionadas con la inteligencia artificial y la robótica, Caldas y Manizales deben asumir este gran desafío estratégico global y regional, para el cual debe tomar acciones estructurales en relación con un **nuevo modelo educativo**, que además de desarrollar el talento humano, les permita prevenir impactos negativos, culturales, económicas y territoriales asociados a una brecha digital, **previendo los cambios** no sólo en la producción y el empleo, sino también en la sociedad y el medio ambiente.

•Para el efecto, Manizales y Caldas bajo ese nuevo enfoque deberán trazar una estrategia que tenga como objetivo consolidar desarrollos estratégicos relacionados con dos áreas: **las Tecnologías en Información y Computación (TIC) y la Biotecnología** (verde, blanca, roja y transversal), encontrando en cada área una empresa ancla como atractora, y empleando la metodología de clúster para **obtener ventajas asociativas y conformar masa crítica** en sendas opciones, haciendo del carácter biodiverso del territorio y del notable potencial de las instituciones científicas y universidades de la ecorregión cafetera, además de los centros urbanos vecinos conurbados **una ventaja competitiva**.

Epílogo

Urge reforestar las cuencas abastecedoras de agua y resolver los conflictos entre uso y aptitud del suelo, no solo en los medios rurales sino también en los urbanos donde igualmente se presiona la estructura ecológica del territorio, caso RFP de Río Blanco y Chec con el proyecto urbanístico de La Aurora y la Mina de Toldafria.

Urge una gestión integral soportada en estrategias de gobernanza para la preservación del patrimonio hídrico, donde además de las aguas superficiales y las subterráneas, se contemplen el saneamiento básico y la cobertura del servicio en los medios rurales y urbanos.

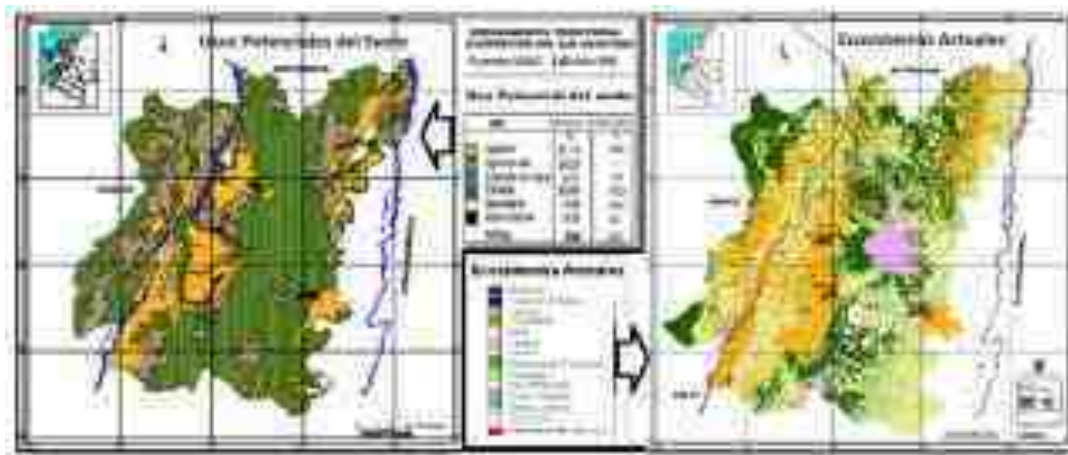


Imagen: Usos actuales y potenciales del suelo en la ecorregión cafetera: SIR-Alma Mater 2002.

Según el IDEAM, **con el cambio climático los principales efectos podrían presentarse en los sectores de infraestructura vial y cuencas deforestadas** en zonas de alta pendiente, debido al **aumento de precipitación** y precaria regulación hídrica. Además, debido al **incremento de la temperatura**, las coberturas nivales hoy en retroceso, seguirán

disminuyendo en volumen, al tiempo que los **aumentos de humedad relativa** afectarán el sector agrícola por plagas sostenidas en el tiempo.

- Se requiere un **esfuerzo coordinado en Políticas Públicas relacionadas con estrategias y acciones de planificación y ordenamiento del territorio** no solo entre la capital caldense y el departamento, sino también a nivel de la RAP del Eje Cafetero, para **implementar proyectos estratégicos de desarrollo económico y social** para la Cultura y el Medio ambiente, entre ellos un **Plan Maestro de Turismo** que incluya El **Paisaje Cultural Cafetero** y la conformación e integración de las **Áreas Metropolitanas** como paso previo para la consolidación de **la Ciudad Región del Eje Cafetero**.

- Se requiere **priorizar el sector rural y corregir el modelo conflictivo de ocupación del territorio**, buscando satisfacer **la función social y ecológica de la propiedad**, desarrollando instrumentos de gestión y de desarrollo comunitario para lograr una intervención que le apueste a **la conservación ambiental e hídrica**, y a la **preservación de la cultura** local y el **rescate de los bienes patrimoniales** culturales y naturales.

- Para lo anterior, además de educación, formación, capacitación e investigación, se debe **fortalecer la institucionalidad y formular de forma participativa los planes de manejo correspondientes**.

Entre los desafíos del POT departamental, estas cinco propuestas:

- En la **Dimensión Humana y Social**, se debe ubicar a las personas en el centro del desarrollo: para el desarrollo rural y en general de la provincia, la inequidad y la pobreza, la carencia de vivienda y de salud, la brecha educativa y de ingresos, la drogadicción, la exclusión y la violencia de género, la delincuencia y el desempleo, son entre otros los temas centrales y los grandes desafíos.

- En la **Dimensión Medio Ambiente y Territorio**, soportar la sostenibilidad en la responsabilidad social y ambiental y en la gestión integral del riesgo. La asociatividad soportada en sinergias territoriales, y el transporte rural como catalizador de la pobreza, además de las barreras asociadas a la condición mediterránea del territorio, la conectividad de la ecorregión y del Eje Cafetero, son otros desafíos.

- En la **Dimensión Producción e Ingresos**, priorizar la formación del capital social sobre el crecimiento económico, y desarrollar políticas de Ciencia, Tecnología y Cultura como estrategias para cerrar la brecha de productividad.

- En la **Dimensión Cultura y Educación**, el desarrollo de la identidad cultural y de la civilidad como valor supremo de la cultura urbana, e implementar un nuevo modelo educativo de cara a la sociedad del conocimiento.

- En la **Dimensión Político Institucional**, fortalecer la apropiación social de los procesos de intervención del territorio, como los procesos de gobernanza, de paz, de desarrollo institucional y de lucha contra la corrupción, con el concurso de la sociedad civil y ONG. La participación en el POT de los actores sociales estratégicos y comunidades de base, y los modelos de gestión del territorio entendido como el resultado de procesos sociales e históricos, resulta fundamental.

- Corregir siglos de olvidos e incumplimientos sistemáticos en el territorio**, invisibilizando referentes sociales y culturales, y sometiendo a la provincia a los a la falta de una planeación abierta y participativa, y a **un modelo de intervención territorial de corte utilitarista emprendido por el Estado y actores económicos extraños**, exige además de la reparación de los daños causados, el reconocimiento de la urgencia que amerita la solución de la grave problemática socioambiental del territorio caldense, fortaleciendo su apropiación social.

•Bajo la premisa de que **existe una brecha entre la acción del Estado y los derechos bioculturales del territorio**, dada la evidente posibilidad de avanzar en la construcción de **un plan de acción integral y concertado con propuestas viables y sostenibles de mediano y largo plazo** fruto de un trabajo mancomunado de todos los actores sociales, se deberá **priorizar una política pública** soportada en dicha filosofía, para que mediante dicho plan de acción resuelva las graves afectaciones que padecen las diferentes regiones de Caldas.

•**De contarse con la voluntad política que no se tenido y con una política pública de alto contenido social y ambiental**, ¿cómo proceder para la ejecución del plan de acción y para verificar su cumplimiento?: se deberán implementar un grupo motor conformado por representantes de las regiones, de los sectores comunitarios, gremiales y académicos, y otro de veeduría ciudadana con

¿Cómo estamos en Caldas?: aunque en el Índice de competitividad de 2019 con un puntaje de 5,91/10 aparecemos en el puesto 8 entre 32 departamentos, contra una media nacional de 4,81, donde el Eje Cafetero muestra a Risaralda con 6,05 y al Quindío con 5,52), falta mucho por hacer, ya que entre 13 los factores, estas son algunas de nuestras fortalezas y debilidades:

- En Entorno para los Negocios con 7,34 punteamos; Risaralda tiene 7,20) y Quindío 6,87.
- En TIC con 6,67, superamos a Risaralda (6,13) y Quindío (6,00).
- En Innovación y Dinámica Empresarial con 5,44, superamos a Risaralda (4,86) y Quindío (4,13)
- En Infraestructura con 5,04, superamos a Risaralda (4,75) y Quindío (4,84).
- En Educación Superior con 6,01, aparecemos sobre Risaralda (5,20) y Quindío (5,55)
- En Mercado Laboral con 6,48 superamos a Risaralda (6,25) y Quindío (4,92).
- En Educación Básica con 6,59, aparecemos entre Risaralda (6,69) y Quindío (6,30).
- En Sofisticación y Diversificación aparecemos entre Risaralda (8,07) y Quindío (4,65),
- En el Desarrollo Institucional con 6,48, estamos por debajo de Risaralda (7,99) y Quindío (6,98).
- En Salud con 5,90, estamos por debajo de Risaralda (6,09) y Quindío (6,06).
- En Sostenibilidad Ambiental con 3,63 somos antepenúltimos; Risaralda obtuvo (5,00) y Quindío (6,05).

Gracias

Ponencia para el "II Encuentro de saberes Dachi Kuita: el valor público como construcción de paz", "Red de Estudios Metateóricos sobre la Ciencia, el Territorio y las Políticas Públicas", adscrita a la Escuela Superior de Administración Pública ESAP. La sede del evento, es la Universidad Católica de Manizales. Noviembre 7 y 8 de 2019.

ENLACES U.N.

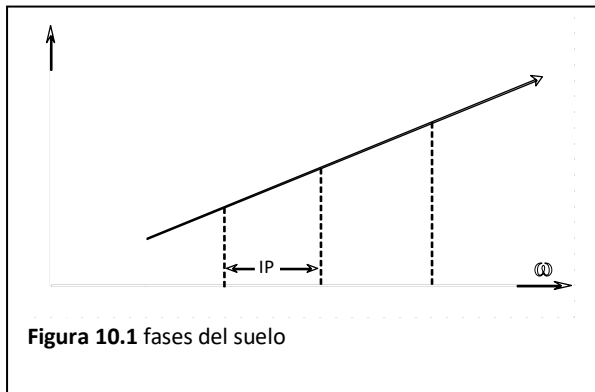
<u><i>Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales..</i></u> <u><i>CTS, Economía y Territorio.</i></u> <u><i>Cultura del agua en los ríos urbanos.</i></u>	<u><i>El agua en Colombia: glosas.</i></u> <u><i>El modelo de ocupación urbano – territorial de Manizales.</i></u> <u><i>El ocaso del bosque andino y la selva tropical.</i></u>	<u><i>Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia.</i></u> <u><i>Manizales: Foro del Agua 2019.</i></u> <u><i>Río Blanco, cuna de vida...</i></u>

CAPÍTULO 10

ESFUERZOS EN MASAS DE SUELO

10.1 Introducción

Se han visto aspectos relacionados con las deformaciones de un suelo sometido a la acción de fuerzas externas (caso del edómetro), y se ha integrado el efecto del agua a su comportamiento; igualmente se han definido los límites y estudiado las relaciones de fase del suelo, visto como una estructura trifásica, compuesta por sólidos, agua y aire.



LF: Límite de fluidez.

LL y LP Límites líquido y plástico.

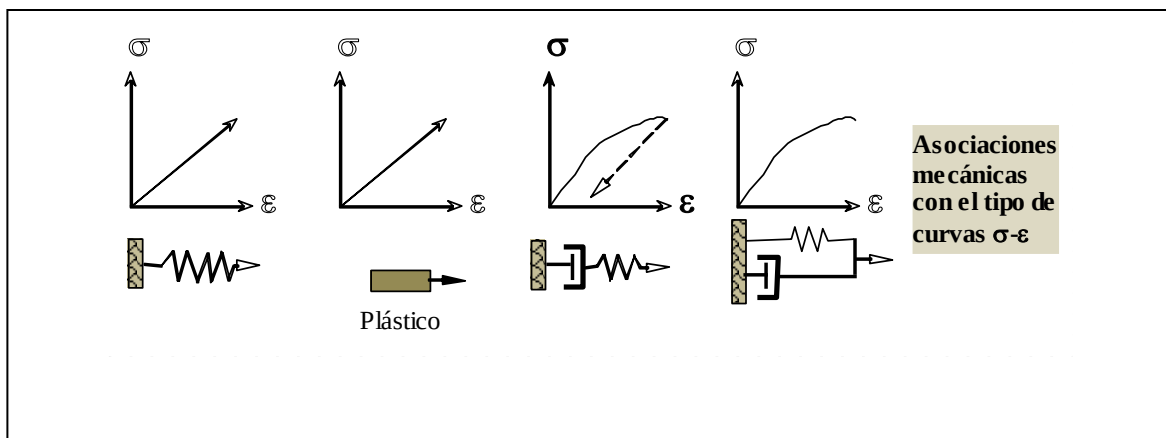
$IP = LL - LP$ Rango de estado plástico

LR: Límite de retracción

En el estudio de capilaridad (Sección 6.1.3), se vio el efecto de contracción de un suelo arcilloso por pérdida de agua. También en la sección 4.1 se discutió la actividad de las arcillas, ligada al estado plástico del suelo, por depender de la cantidad de agua adsorbida sobre las partículas del suelo.

La utilidad de los límites es importante para clasificar suelos, pero también cuando se tienen que resolver problemas geotécnicos relacionados con los cambios de volumen por la variación de humedad en el suelo, frecuentes en taludes conformados por suelos arcillosos que sufren secado por el calor y el viento, se contraen, se agrietan y sufren la inestabilidad por deshidratación. Un suelo activo, expuesto a variaciones de humedad, puede desencadenar problemas de ingeniería por su inestabilidad volumétrica.

Pero el comportamiento de un suelo sometido a esfuerzos, no es el mismo cuando la velocidad e intensidad de los esfuerzos varía. La consolidación enseña que, un suelo que responde rígidamente a una carga súbita e instantánea, responderá plásticamente, ante una carga de largo plazo, en virtud de un proceso de drenaje que es controlado por la permeabilidad del suelo.



b) 10.2 Estructura del suelo y esfuerzos

La fábrica textural del suelo, tiene dos posibilidades extremas: es floculada como los suelos marinos que presentan contacto borde-cara, gracias a fuerzas de atracción eléctrica, o dispersa cuando las partículas se disponen paralelas, porque se repelen eléctricamente. Al cargar un suelo, los desplazamientos por deformación de carga tienden a desplazar las partículas y los enlaces electroquímicos pueden deshacerse, para que la fábrica estructural quede dispuesta en forma paralela.

El comportamiento mecánico dependerá de la estructura del suelo. El suelo floculado ofrece mayor permeabilidad, alta resistencia y baja compresibilidad, gracias a las fuerzas electroquímicas entre las partículas.

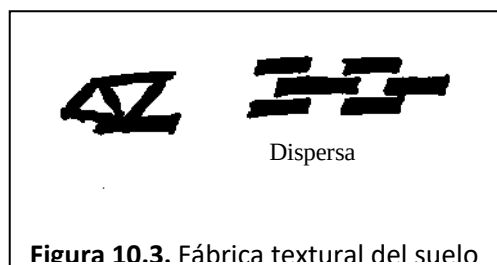


Figura 10.3. Fábrica textural del suelo

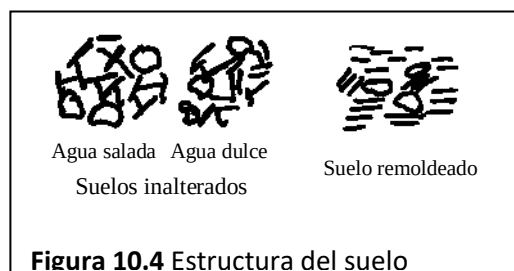
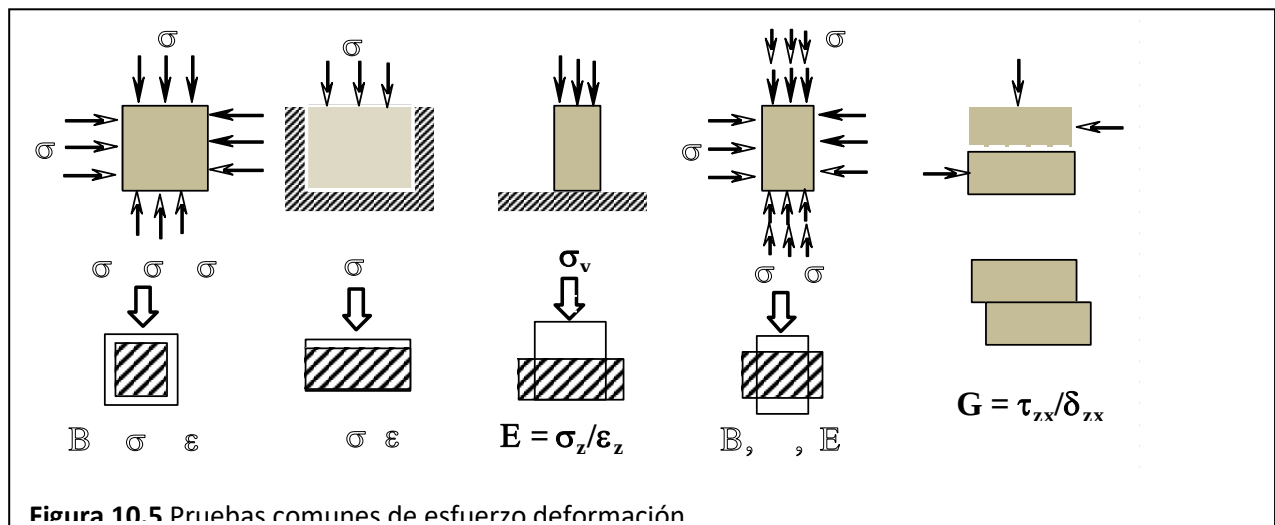


Figura 10.4 Estructura del suelo

Tabla 10.1 Factores de comportamiento del suelo.

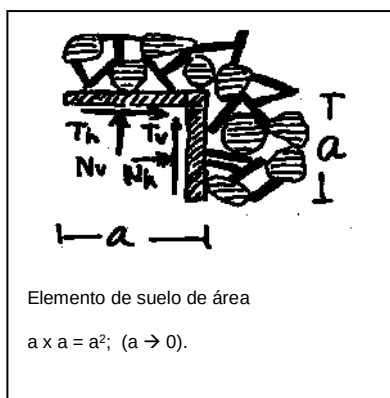
Suelo	Factores de formación del suelo	Factores de comportamiento
Consolidado	Naturaleza de los sedimentos →	Esfuerzos
	Método de transporte y sedimentación →	Tiempo
	Naturaleza del medio de sedimentación →	Agua
Compacto	Naturaleza del suelo →	Entorno físico
	Energía y tipo de compactación →	Perturbación.
	Humedad de la muestra en obra →	Medio y factores intrínsecos.

- a. Presión:** Con el aumento de la presión, aumenta la resistencia al esfuerzo cortante, disminuye la compresibilidad y se reduce la permeabilidad. Lo contrario, cuando disminuye la presión de confinamiento de un suelo, después de retirar cargas (de suelo u otras). Si el suelo está en equilibrio, bajo la misma presión que ha experimentado en su historia geológica, se denomina suelo normalmente consolidado (NC). En el canal de Panamá, las lutitas de los taludes fallaron porque, después de las excavaciones, perdieron la resistencia al cortante.
- b. Tiempo:** Esta variable también influye en el comportamiento, como las presiones, la humedad y las condiciones del medio. El agua puede salir por efecto de las cargas, y los esfuerzos son asumidos por el suelo. Las reacciones químicas y otros procesos de degradación, requieren tiempo, y también la velocidad de aplicación de las cargas condicionan el tipo de respuesta del suelo.
- c. Agua:** Los dos efectos principales sobre el suelo, causados por el agua, son: la reducción de la cohesión entre las partículas arcillosas y la modificación de los esfuerzos del suelo al aumentar la presión de poro " U " y disminuir el esfuerzo efectivo " σ' ". La arcilla, en estado seco es resistente y sumergida no.
- d. El entorno:** También puede condicionar y modificar el comportamiento: la naturaleza del fluido intersticial y la temperatura de una arcilla sedimentaria o compactada, pueden variar en el tiempo. Si la arcilla era marina, por lixiviación, el flujo primitivo se hace menos salino y con ello, se reduce la fuerza de atracción electrostática entre partículas del suelo, variando su resistencia al corte, las arcillas sensitivas, que son de elevada susceptibilidad a los fenómenos de lixiviación, son de naturaleza marina, depositadas en alto grado por floculación; pero si el lavado reduce los enlaces cara borde, la arcilla tiende a la dispersión y el suelo, a presentar fallas por cortante.



10.3 ESFUERZO VERTICAL Y HORIZONTAL (suelo drenado)

En un elemento de suelo, a una profundidad Z , se puede considerar las fuerzas normales N y tangenciales T que, sobre sus caras, carga las partículas de suelo: sea "h" la dirección horizontal y "v" la dirección vertical. Entonces:



$$\begin{aligned} \sigma_v &= \frac{N_v}{a^2}; & \sigma_h &= \frac{N_h}{a^2} \\ \tau_v &= \frac{T_v}{a^2}; & \tau_h &= \frac{T_h}{a^2} \end{aligned} \quad (10.2)$$

10.4 ESFUERZOS GEOSTÁTICOS VERTICALES (σ_v) $\equiv$ sobrecarga



(10.3)

Los esfuerzos al interior del suelo se generan por dos tipos de cargas: el peso propio del suelo y el efecto de las cargas exteriores aplicadas al suelo. Los esfuerzos geoestáticos (verticales) son debidos al **peso propio del suelo**; y pueden variar con la profundidad, cuando varía el peso unitario del suelo.

Si $\gamma_T = 1,6 \text{ Ton/m}^3$, para calcular σ_v se tiene la siguiente tabla

UNIDADES DE σ_v	UNIDADES DE Z	EXPRESIÓN DE σ_v
Libras / pie ²	Pies	$\sigma_v = 100 Z$
Libras / pulgada ²	Pies	$\sigma_v = 0,694 Z$
Kg / cm ²	Metros	$\sigma_v = 0,160 Z$
Atmósferas	Pies	$\sigma_v = 0,0473 Z$

Si γ_T varía con la profundidad: $\sigma_v = \sum \gamma_i (\Delta Z_i)$ por tratarse de variación discontinua; o

$$\sigma_v = \int_0^Z \gamma dz, \text{ para variación continua.}$$

10.5 ESFUERZO GEOSTÁTICO HORIZONTAL, (K y K_0)

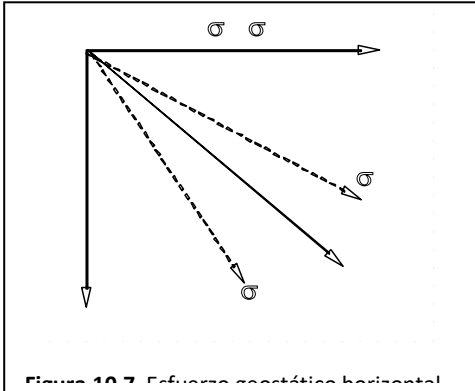


La relación entre los esfuerzos horizontal σ_h y vertical σ_v , se expresa con el **COEFICIENTE de ESFUERZO LATERAL "K"** o coeficiente de presión de tierras. La relación no es exclusiva de los esfuerzos geoestáticos y su valor **TEÓRICO** está en un rango amplio:

$$0 \leq K \leq 1;$$



y $\mu_{\max} = 0,5$. En la realidad, $K > 1$ y empíricamente en arcillas NC. En arcillas NC y en arenas $K < 1$. En arcillas PC y arcillas compactas o arenas compactas $K_0 > 1$.



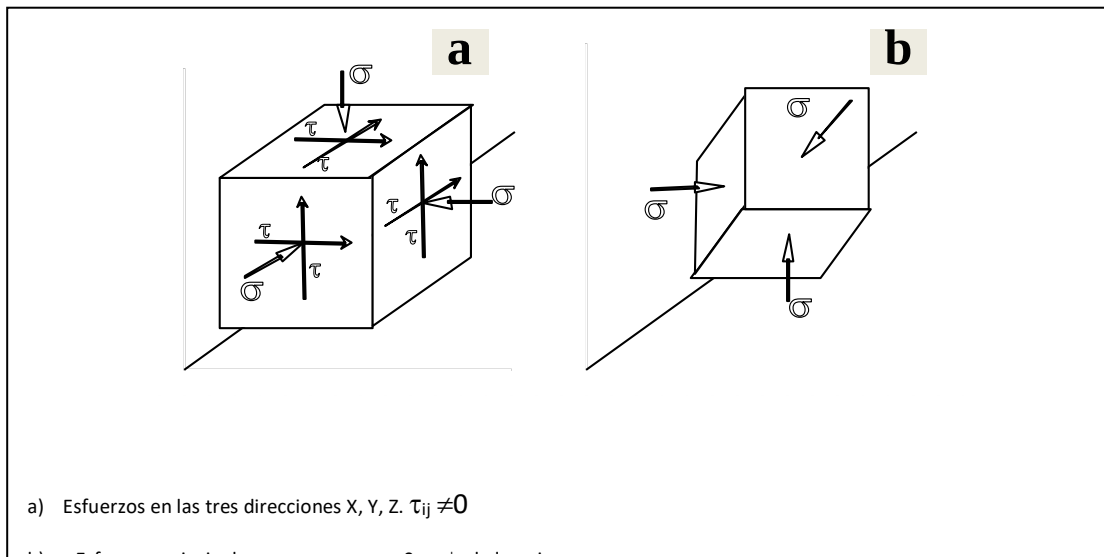
Cuando un depósito sedimentario se forma por acumulación en capas horizontales, se va incrementando σ_v y no necesariamente σ_h , por lo que $K < 1$. En depósitos de arena sedimentaria, $K = 0,4 - 0,5$.

c) Si no existe deformación horizontal por presión de lateral de sepultura, el valor de K es K_0 coeficiente de tierras en reposo. Así que, en procesos sedimentarios, es típico el valor $\sigma_h = K_0 \sigma_v$, y el valor se representará en la Figura 10.7.

$$d) \quad \tan \alpha_0 = \frac{\sigma_v - \sigma_h}{\sigma_v + \sigma_h} = \frac{\sigma_v(1 - K_0)}{\sigma_v(1 + K_0)} = \frac{1 - K_0}{1 + K_0} \quad (10.6)$$

En rocas $\mu = 0,25$, normalmente, por lo que $K = \frac{0,25}{1 - 0,25}$, o sea, $K_{(rocas)} = \frac{3}{4}$, lo que significa $\sigma_h = \frac{3}{4} \sigma_v$, normalmente.

10.6 ESFUERZOS PRINCIPALES $\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3$ Y PLANOS PRINCIPALES



El cubo a muestra las 3 componentes de los esfuerzos principales σ_1 , σ_2 y σ_3 ; las caras de ese cubo son paralelas a los 3 planos del sistema cartesiano.

El cubo b muestra una rotación, tal que σ_1 , σ_2 y σ_3 no tengan componentes τ sobre sus caras. σ_1 , σ_2 y σ_3 son perpendiculares a las caras del cubo, llamadas PLANOS PRINCIPALES, mientras σ_1 , σ_2 y σ_3 se denominan esfuerzos principales.

10.7 ESFUERZOS PRODUCIDOS POR CARGAS APLICADAS

En la teoría de la elasticidad se emplea frecuentemente, para el cálculo en una masa del suelo, este tipo de esfuerzos. La teoría supone que **ESFUERZO y DEFORMACIÓN** son proporcionales; la mayoría de las soluciones útiles suponen el suelo homogéneo e isótropo; incluso suponen el suelo "CHILE" (continuo, homogéneo, isótropo y linealmente elástico).

Problema 10.1. Dado un suelo y dada una estructura, la pregunta es. ¿Cuál es la magnitud del asentamiento en un tiempo dado?

Solución: Se suponen 4 etapas de cálculo, que en su orden son:

1. Cálculo de los esfuerzos iniciales.
2. Incremento de esfuerzos totales.
3. Incremento de los esfuerzos efectivos para el tiempo t.
4. Cálculo de las deformaciones para ese tiempo.

De lo anterior, es importante destacar algunos conceptos:

- a) El numeral 1 alude a los esfuerzos geoestáticos (Ecuación 9.4) donde $K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$ (coeficiente de esfuerzo lateral) puede escribirse en función del incremento de los esfuerzos y de la relación μ :

$$K = \frac{\Delta\sigma_x}{\Delta\sigma_z} = \frac{\mu}{1-\mu} \therefore \Delta\sigma_h = \frac{\mu}{1-\mu} \Delta\sigma_v; \quad (\mu \text{ máximo} = 0,5)$$

En esfuerzos geoestáticos, las deformaciones sólo se dan en la profundidad: $\varepsilon_z \neq 0 = \varepsilon_x = \varepsilon_y$

- b) La relación de sobre-consolidación $RS = \sigma'_p / \sigma'_0$, que relaciona el máximo esfuerzo efectivo histórico con el efectivo, es $RS > 1$ en suelos sobre-consolidados. Estos suelos tienen memoria y al descargarlos pasan de C a A, en la curva $\Delta\sigma'_x - \Delta\sigma'_z$, dando un K aparente (AB), diferente al K real (OC).

10.8 CASOS DE ESFUERZOS VERTICALES.

Como la solución analítica para unas determinadas cargas y condiciones de frontera, es bastante tediosa, los libros de Mecánica de Suelos básicos no las reportan, pero sí las emplean. Algunas son:

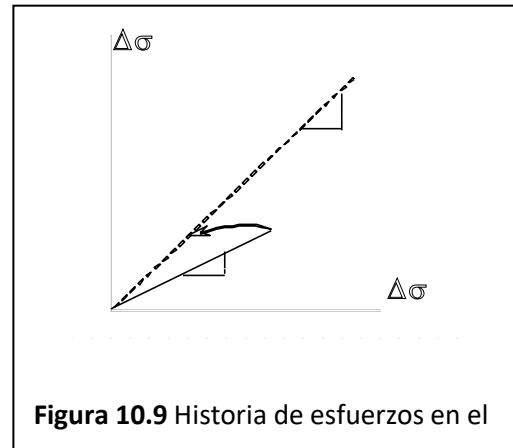


Figura 10.9 Historia de esfuerzos en el

- a) **Carga puntual vertical Q** (con θ y R)

$$\Delta\sigma_v = \frac{3Q * Z^2}{2\pi(r^2 + Z^2)^{5/2}}$$

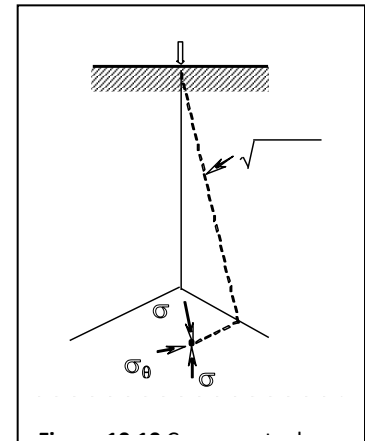
$$\Delta\sigma_R = \frac{Q}{2\pi} \left[\frac{3R^2 Z}{(R^2 + Z^2)^{5/2}} - \frac{1-2\mu}{R^2 + Z^2 + Z\sqrt{R^2 + Z^2}} \right]$$

$$\Delta\tau_{RZ} = \frac{3Q * R^2 Z^2}{2\pi(R^2 + Z^2)^{5/2}} \quad (10.6)$$

$$(x, y) = (r, \theta)$$

$$\sigma_v \perp \sigma_R \perp \sigma_\theta$$

$$\sigma_v \perp \sigma_x \perp \sigma_y$$



Expresiones de **BOUSSINESQ** para el incremento del esfuerzo en un punto N a una profundidad Z y distancia horizontal R, del punto de aplicación de la fuerza Q.

- b) **Carga lineal vertical de longitud infinita.** (figura 10.11, con X y con Y)

$$\Delta\sigma_v = \frac{2Q * Z^3}{\pi(X^2 + Y^2)^2} \quad \Delta\sigma_x = \frac{2Q * \pi * X^2 * Y^2}{\pi(X^2 + Y^2)^2} \quad \Delta\tau_{xz} = \frac{2Q * X * Z^2}{\pi(X^2 + Y^2)} \quad (10.7)$$

c) Carga uniformemente distribuida sobre una franja infinita

$$\Delta\sigma_V = \frac{q}{\pi} [\alpha + \text{sen } \alpha * \cos(\alpha + 2\beta)]$$

$$\Delta\sigma_X = \frac{q}{\pi} [\alpha - \text{sen } \alpha * \cos(\alpha + 2\beta)]$$

$$\Delta\tau_{XY} = \frac{q}{\pi} \text{sen } \alpha * \text{sen}(\alpha + 2\beta)$$

(10.8)

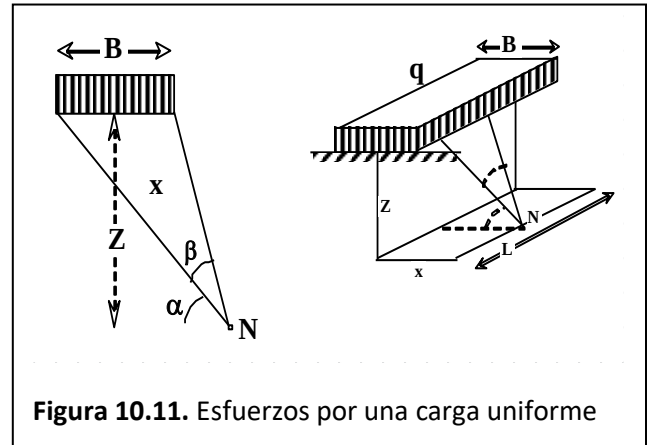
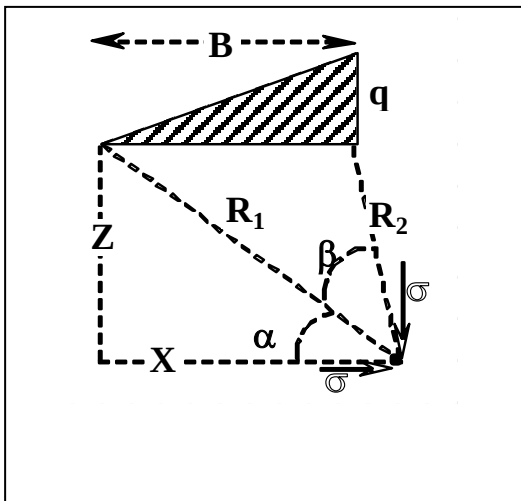


Figura 10.11. Esfuerzos por una carga uniforme

Se puede suponer los casos c) y d) en casos como terraplenes o cortes.

d) Carga con distribución triangular sobre franja infinita. (Figura 10.12)



$$\Delta\sigma_V = \frac{q}{\pi} \left[\frac{X}{B} \alpha - \frac{1}{2} \text{sen}(2\beta) \right]$$

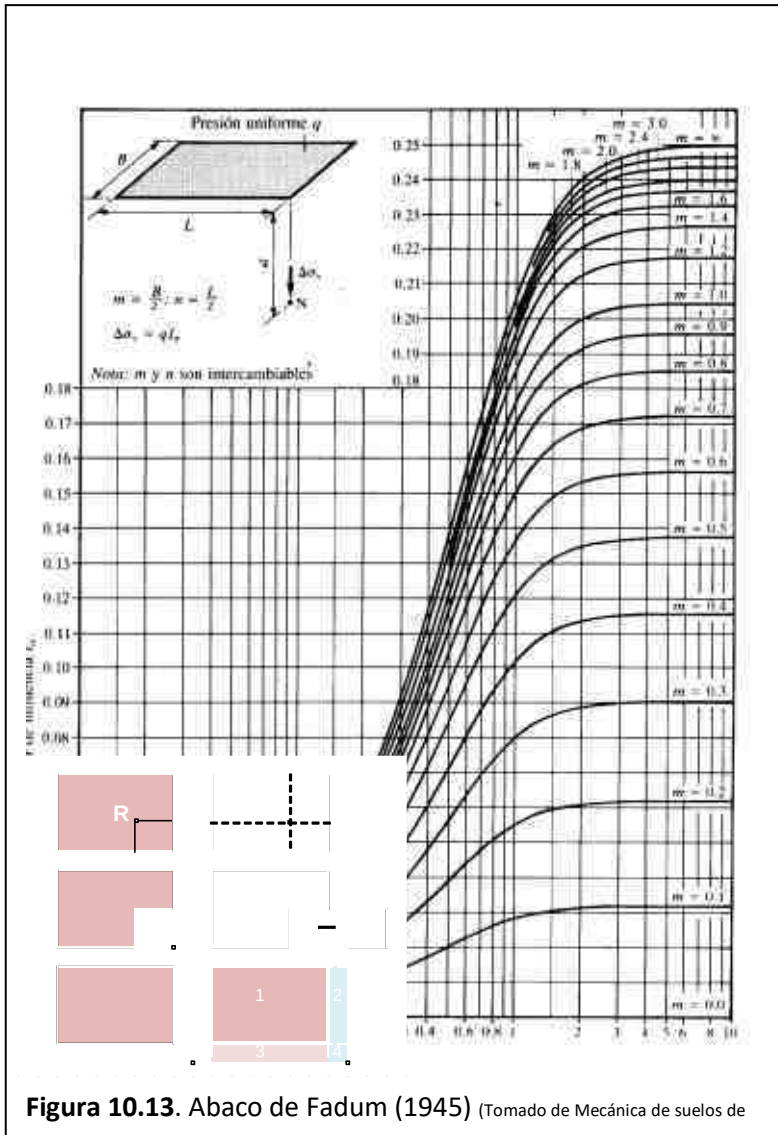
$$\Delta\sigma_X = \frac{q}{\pi} \left[\frac{X}{B} \alpha - \frac{Z}{B} \ln \frac{R_1^2}{R_2^2} + \frac{1}{2} \text{sen}(2\beta) \right]$$

(10.9)

$$\Delta\tau_{XZ} = \frac{q}{2\pi} \left[1 + \cos(2\beta) - \frac{2Z}{B} \alpha \right]$$

e) Carga uniformemente distribuida sobre un área rectangular. (Zapata)

Para calcular el incremento del esfuerzo vertical $\Delta\sigma_v$ total, bajo la esquina de un área rectangular, de lados B y L, que está uniformemente cargada. El punto N está a una profundidad Z a partir de la esquina del área cargada. I_0 es el FACTOR DE INFLUENCIA, m y n son factores que pueden ser "intercambiables"



Rutina: $n \rightarrow m \rightarrow I_0 \rightarrow \Delta\sigma_v$.

Cuando el punto a analizar no está bajo el área cargada, se acude a realizar el siguiente artificio que permite la solución del problema.

Ejemplo: Para puntos que no están bajo la esquina, casos R, S y T, se puede aplicar el ábaco de FADUM, de la siguiente manera: subdivido el área de influencia en rectángulos que pasen por el punto dado y paralelos al área cargada. Aplico los principios de superposición que se muestran a continuación, dibujos en planta, para 3 casos:

$$\Rightarrow \Delta\sigma_R = \Delta\sigma_{\text{área 1}} + \Delta\sigma_{\text{área 2}} + \Delta\sigma_{\text{área 3}} + \Delta\sigma_{\text{área 4}}$$

(Obsérvese que la partición se hace por R)

$$\Rightarrow \Delta\sigma_S = \Delta\sigma_{\text{área 1}} - \Delta\sigma_{\text{área 2}}$$

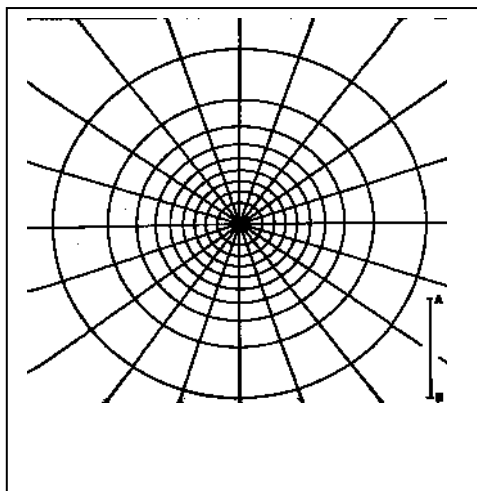
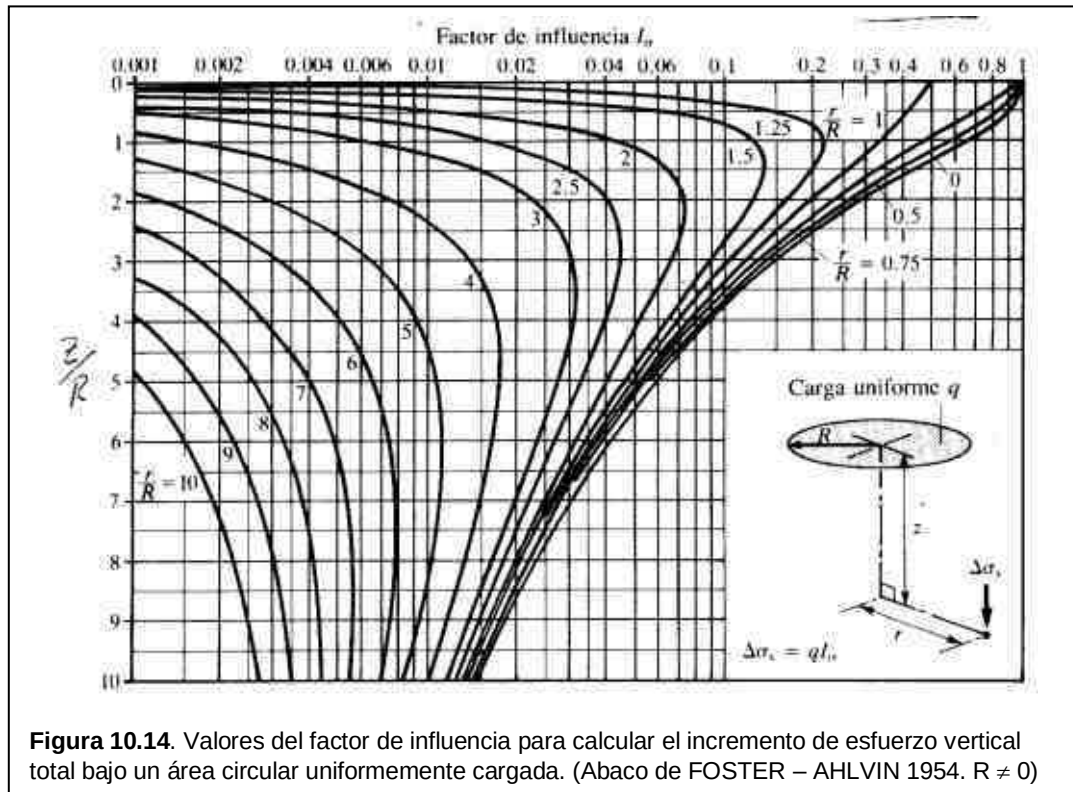
(Obsérvese que el área cargada no es cuadrada)

$$\Rightarrow \sigma_T = \sigma_{1234} - \sigma_{34} - \sigma_{24} + \sigma_4$$

(Nótese que el área 4 se restó dos veces y se sumó una)

f) Carga uniforme sobre un área circular de radio R (Tanque, por ejemplo)

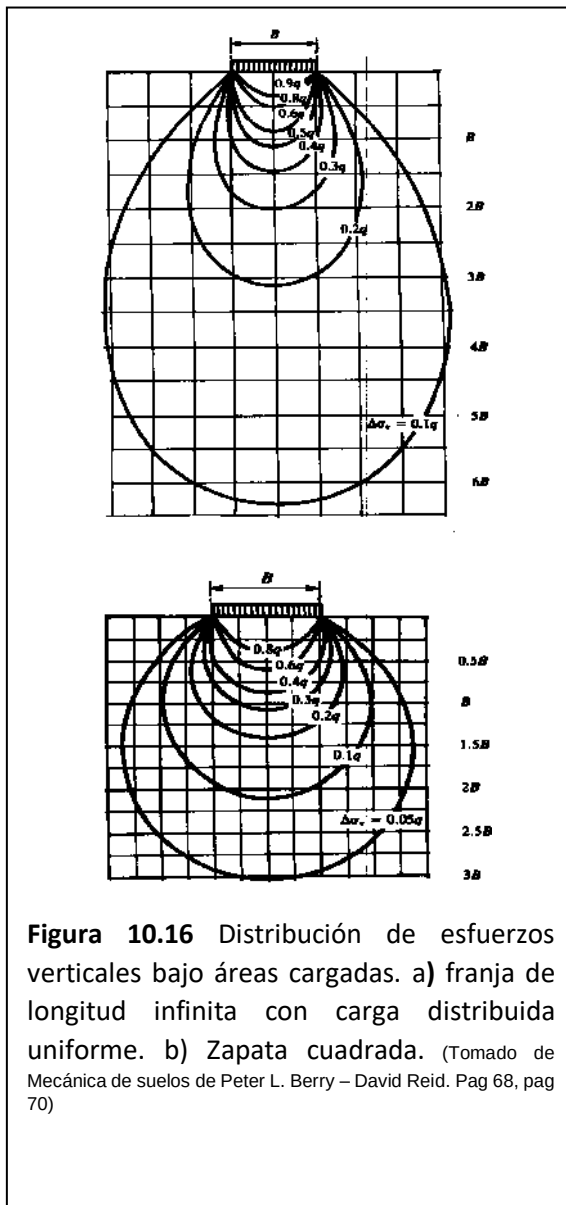
$$\Delta\sigma_v = q \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{R}{z} \right)^2} \right]^{\frac{3}{2}} \right\} \Rightarrow \text{Para } R=0 \quad (9.11)$$



g) Diagrama de influencia de Newmark (1942).

Útil para áreas de formas irregulares uniformemente cargadas. El método de cálculo es gráfico. El ábaco es una malla o red de cuadros radial y anular, con un centro para N. Se requiere conocer el efecto sobre el punto N de una carga q colocada en el terreno con área "A" de forma cualquiera. Se hacen iguales la escala AB del ábaco y la profundidad Z del punto ($AB = Z$). Ahora, los radios parten del origen y forman, con los anillos, áreas de influencia, cuadrilongos, cargados equivalentes con el mismo incremento de carga. Si el área total del ábaco equivale a q , y son 200 cuadrilongos, el área de un solo cuadrilongo representará un incremento de esfuerzo de .

Dibujada la planta a escala, tal que $Z = AB$, y puesto N en el origen, se cuentan el número n de áreas de influencia, cada una con un valor de influencia I_0 , ocupadas por la planta a escala, sobre el ábaco. Para otra profundidad, el área del contorno cambia, pero para otro punto N, a igual



profundidad, desplazamos el mismo contorno.

10.9 BULBOS DE ESFUERZO.

Con las soluciones de los literales "a" hasta "g" se puede obtener el conjunto de líneas de igual incremento de esfuerzo, por la carga aplicada, utilizando la ecuación de BOUSSINESQ (carga puntual y superposición de cargas). El BULBO DE ESFUERZOS O DE PRESIONES, bajo el área cargada, muestra que el área más afectada, está bajo el centro. $\Delta\sigma_v = f_{(q)}$.

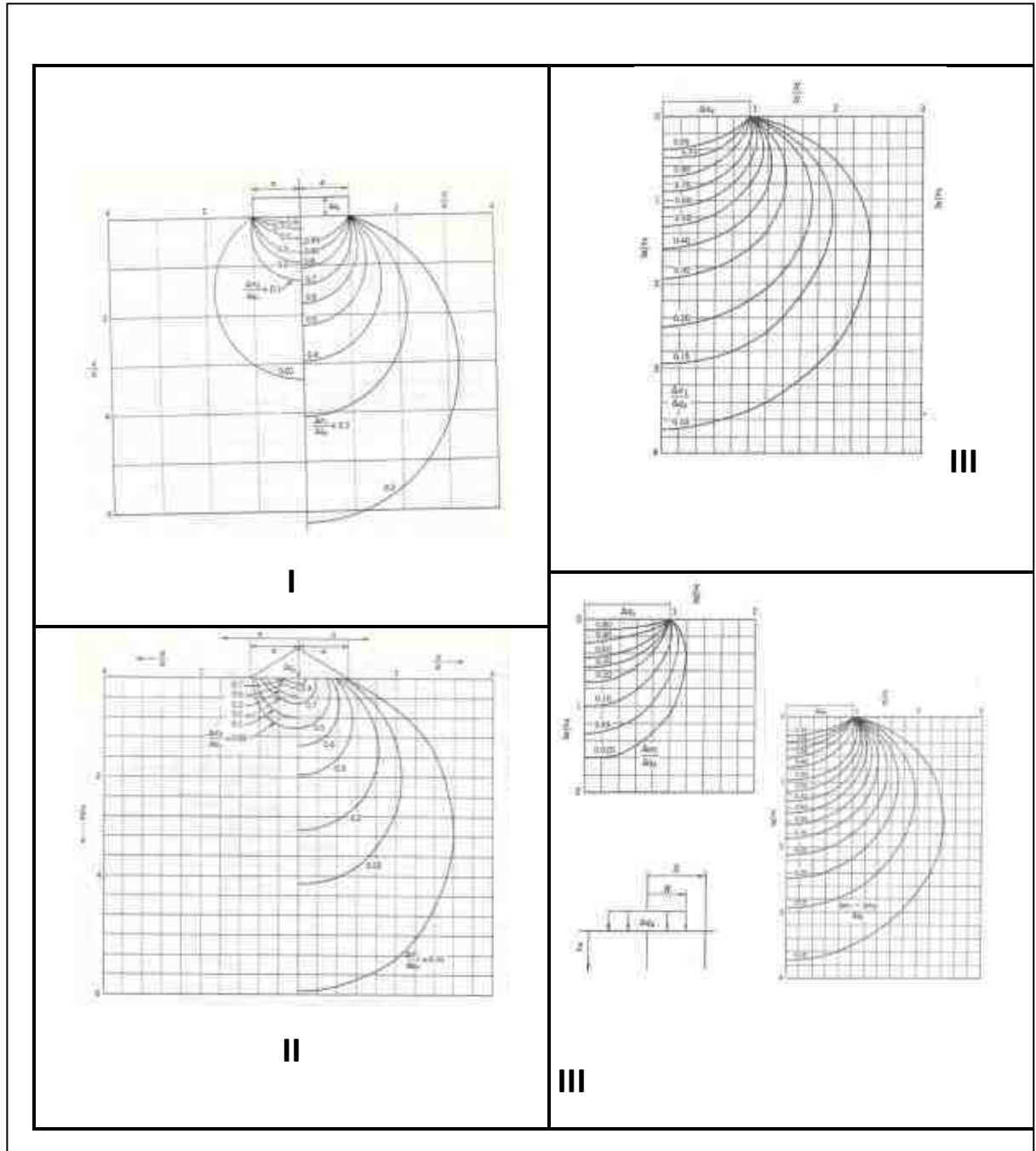
Obsérvese que $Z = 6B$ en la figura 10.16^a, que corresponde a un bulbo de esfuerzos, generado por una cimentación continua o en franja, y $Z = 3B$ que es un bulbo de presiones generado por una cimentación de forma cuadrada o una zapata fig. 10.16b.

$$\Delta\sigma = 0,1q$$

La zona de influencia de la carga es el bulbo, y se estima arbitrariamente hasta $0,1q$.

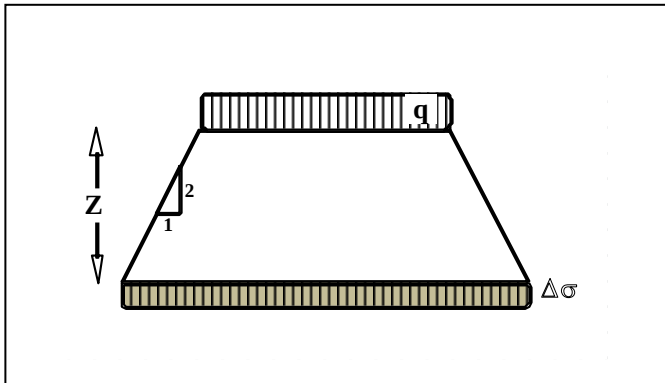
Las líneas de igual incremento de esfuerzo vertical total, están expresadas como una fracción de la presión total aplicada en una franja cargada de longitud infinita, y de un área cuadrada cargada. Las líneas presentan el bulbo de esfuerzos de esas áreas cargadas y se puede ver, que en cualquier profundidad, el mayor incremento de esfuerzo ocurre bajo el centro del área cargada. De ahí el interés de evaluar los esfuerzos que se presentan bajo el centro de las áreas.

En áreas circulares, uniformemente cargadas, el bulbo tiene una influencia a profundidades similares a las de la figura 10.17.



NOTA: El perfil $z \Rightarrow q$ se obtiene del bulbo, leyendo $\Delta\sigma_v$ por debajo del punto central de la zona cargada.

10.10 MÉTODO APROXIMADO DE CÁLCULO PARA $\Delta\sigma_v$



$$\Delta\sigma_v = q \frac{LB}{(L+Z)(B+Z)} \quad (10.13)$$

$$\Delta\sigma_v = q \frac{L^2}{(L+Z)^2} \quad (10.14)$$

$$\Delta\sigma_v = q \frac{R^2}{(R+Z)^2} \quad (10.15)$$

Se muestran expresiones para áreas rectangular (10.13), cuadrada (10.14) y circular (10.15). Si $Z \geq 3L$, las discrepancias con otros métodos son muy pequeñas.

10.11 CONSOLIDACIÓN Y ASENTAMIENTO EN ÁREAS DE TAMAÑO FINITO

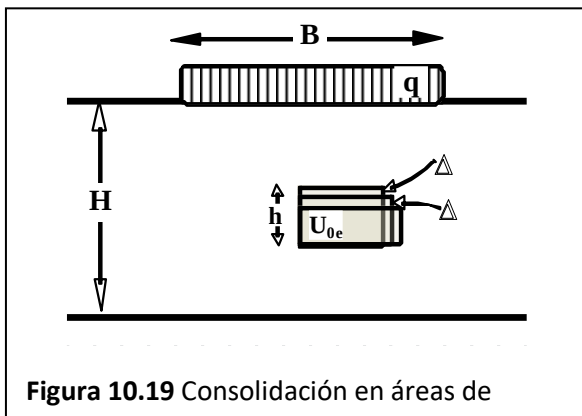


Figura 10.19 Consolidación en áreas de

tridimensional.

La teoría de la elasticidad permite los cálculos para estimar las deformaciones verticales del suelo, es decir, predecir la magnitud de los asentamientos que se produce en la superficie de una masa de suelo cuando una carga se aplica sobre el área de cimentación.

Las soluciones para predecir los asentamientos basados en la teoría de la elasticidad utilizan el módulo de elasticidad "E" y la relación de Poisson " ν ".

Cuando B es pequeño comparado con H (zapatas, por ejemplo) la consolidación es

Por la sobrecarga (q), el elemento de suelo sufrirá un $\Delta\sigma_v$ y un $\Delta\sigma_h$.

ΔU_{0e} será el exceso de presión de poro y

$$\Delta\sigma_h < U_{0e} < \Delta\sigma_v.$$

Además,

$$\Delta\sigma'_v = \Delta\sigma_v - U_{0e} \text{ y } \Delta\sigma'_h = \Delta\sigma_h - U_{0e}.$$

Pero si el σ'_v aumenta y σ'_h disminuye, el elemento de suelo sufre un **ASENTAMIENTO INMEDIATO ΔS_0** . Posteriormente se presenta la consolidación, la presión de poro U_e se disipa y σ'_h aumenta hasta

alcanzar nuevamente el nivel $\Delta\sigma_{hi}$ inicial existente antes de aplicar la carga y que será superado por σ_h en la etapa final de consolidación, cuando aumentan los esfuerzos efectivos.

Las deformaciones laterales serán el 15% de las verticales (SKEMPTON – BJECRUM) por lo que en la práctica se considera la deformación vertical, que continúa con la consolidación, denominada

ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN

$$\Delta S_{con} = \mu_0 \times h \times \Delta\sigma_v \Delta$$

Como U_{0e} es menor que el incremento $\Delta\sigma_v$, el valor ΔS_{CON} será menor que el que predice el ensayo de consolidación, en una cuantía μ_0 , factor que depende de la forma del área cargada y del parámetro A de SKEMPTON.

Por lo tanto, para el elemento de altura h, el asentamiento total “ ΔS ” es $\Delta S_0 + \Delta S_{CON}$.

El asentamiento total, en un espesor total $H = \sum h$, estará dado por la sumatoria de los asentamientos “ $\sum \Delta S$ ”.

En consecuencia $\Delta S = \Delta S_0 + \Delta S_{CON}$
 $\rightarrow$ deformación del elemento.

ΔS_0 = Asentamiento inicial.

$\Delta S_{CON} = \mu_0 m_v h \Delta\sigma_v =$
 Asentamiento por consolidación.

$H = \sum h$ = Espesor total del estrato permeable.

$S = \sum \Delta S$ = Deformación total.

De lo anterior:

$$S = \sum \Delta S = \sum S_0 + \sum S_{con}$$

$$S = S_0 + \mu_0 \times \sum m_v \times H \times \Delta\sigma_v \quad (9.16)$$

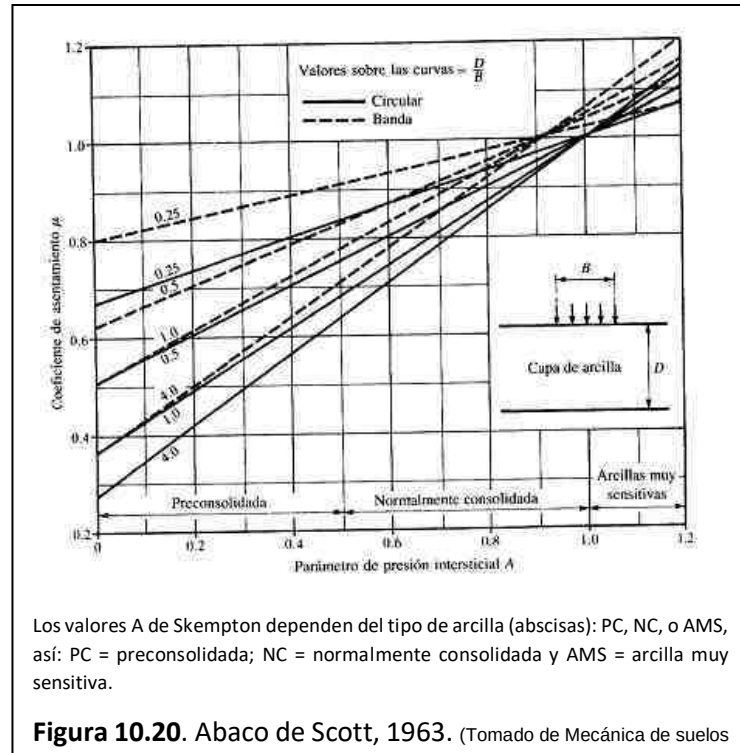


Figura 10.20. Abaco de Scott, 1963. (Tomado de Mecánica de suelos)

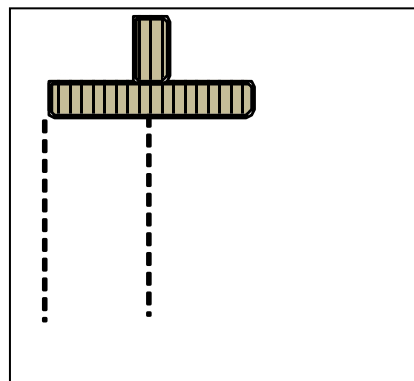
En cimentaciones superficiales, en el cálculo del asentamiento "S", es suficiente tomar entre 6 y 8 capas de espesor h , para lograr mejores aproximaciones en el rango de la influencia, que llega a unas 8 veces el lado de la zapata de ancho "B".



— en zapatas cuadradas o circulares.



— para cimentaciones corridas.



En cimentaciones flexibles, $\sigma_{VA} > \sigma_{VB}$ por lo que se produce asentamiento diferencial.

En cimentaciones rígidas, el esfuerzo σ_{VA} es el 80% del valor en la flexible.

Se asume que se presenta **asentamiento uniforme** en la cimentación rígida y **asentamiento diferencial** en la cimentación flexible. El asentamiento en la cimentación rígida es el 80% de asentamiento que presenta la flexible, y asentamiento diferencial en la flexible es la diferencia entre los asentamientos entre el borde y el centro.

10.12 ASENTAMIENTO INICIAL.

El cálculo de los asentamientos que se presentan en la **superficie**, por efectos de las cargas de la cimentación, puede estimarse a partir de la teoría de la elasticidad, utilizando E y μ (Sección 8.10). Sin embargo un suelo no tiene valores únicos de E y de μ , y eso limita la aplicación del método.

En arenas el módulo E varía con Z , con el ancho del área cuadrada, y la relación μ varía con la deformación. En consecuencia, se recurre a los métodos empíricos, para las arenas.

En arcillas saturadas el asentamiento inicial S_0 se produce **sin drenaje**. Por ello $\mu = 0,5$ y con base en ello se estima el asentamiento inmediato S_0 , para áreas cargadas uniformemente, ya de forma **rectangular** (Figura 10.17 I y II) y de forma **circular** (Figura 10.17 III).

e) 10.13 CARGA EN ÁREA RECTANGULAR: H FINITO

S_0 es el asentamiento inicial en la superficie y en la esquina del rectángulo de lados B y L ; ÁBACO DE STEINBRENNER:

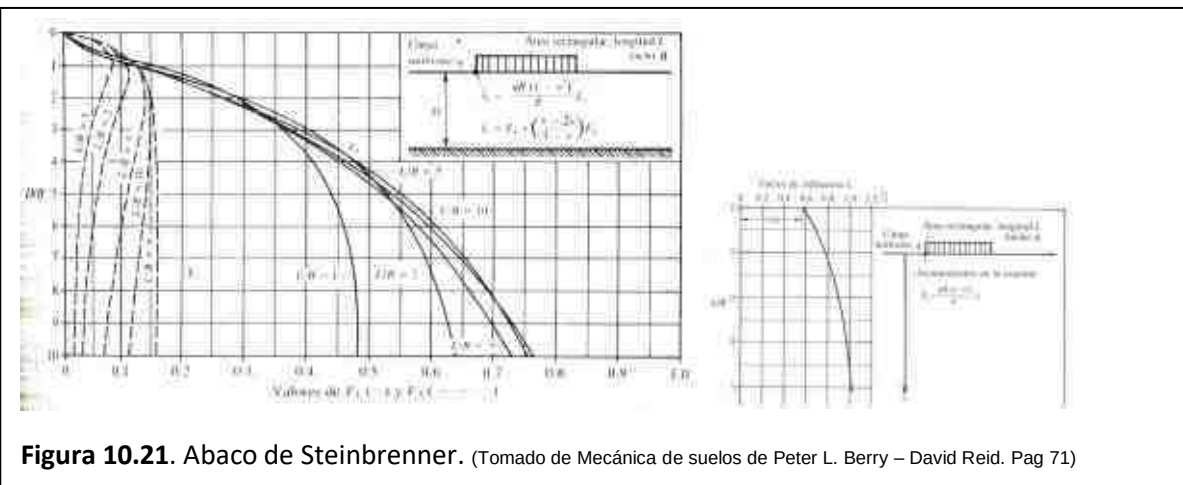
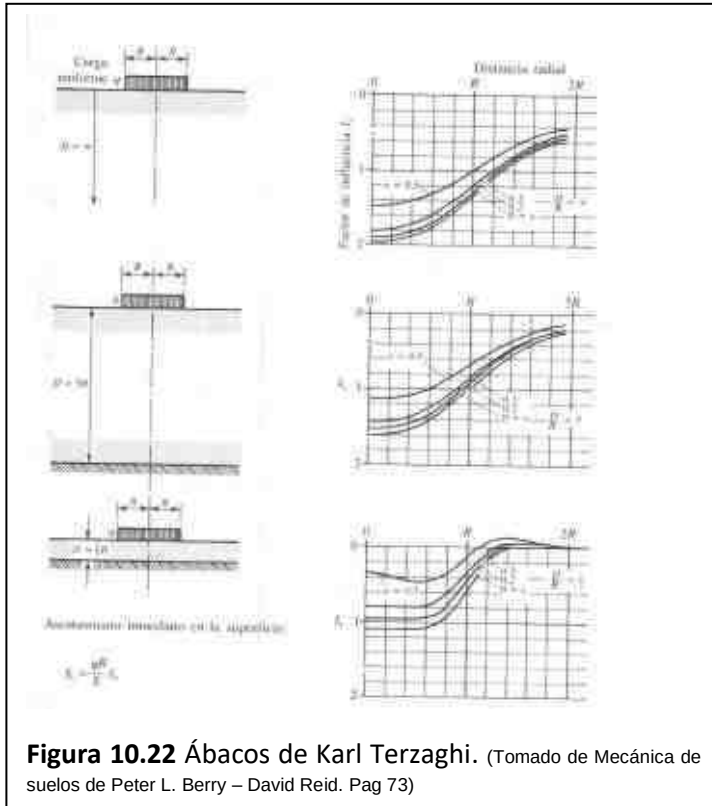
—

(10.17)

Los valores de F_1 y F_2 dependen de L/B y H/B , siendo L el largo y B el ancho, " q " es la carga uniforme. I_s es el factor de influencia y H la profundidad del estrato de suelo.

—

(10.18)



f) 10.14 CARGA EN ÁREA DE FORMA CIRCULAR

El asentamiento inicial está dado por S_0

$$S_0 = \frac{q \cdot R \cdot I_0}{E} \quad (10.19)$$

I_0 es el factor de influencia; S_0 varía con X .

E y μ son el Módulo de Elasticidad y la Razón de Poisson.

g) La figura 10.22 presenta los LOS ÁBACOS son de KARL TERZAGUI – 1943

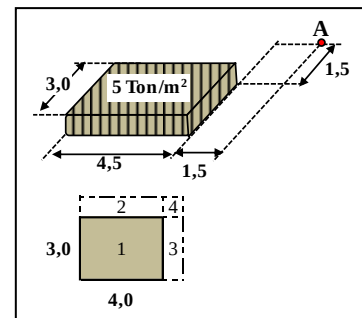
Obsérvese que los tres ábacos representan los valores de los factores de influencia para casos específicos: a) Espacio semi-infinito; b) y c), espacios finitos dados.

Ejercicio 10.1.

Para el esquema de carga uniforme, calcular el esfuerzo $\Delta\sigma_v$ a una profundidad $Z = 3\text{m}$ debajo de A. (Figura 10.13)

Solución: Se aplica el principio de superposición:

Área	B - L	m=B/Z	n=L/Z	I_0	$\Delta\sigma_v$ ton/m ²
(1,2,3,4)	6,0-4,5	1,5	2,0	0,233	+ 1,115
(2,4)	6,0-1,5	2,0	0,5	0,135	-0,675
(3,4)	4,5-1,5	1,5	0,5	0,131	-0,665
(4)	1,5-1,5	0,5	0,5	0,850	+0,425
					+0,210

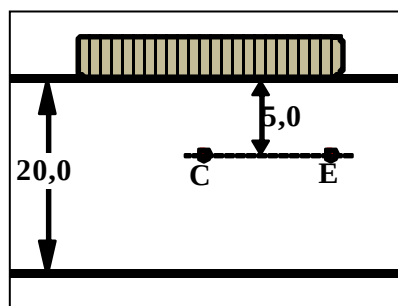
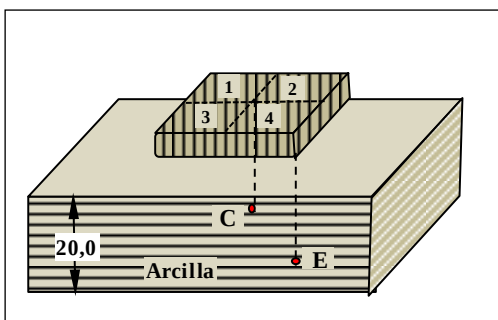


Nota: Obsérvese que las áreas todas pasan por A. Sólo que A es un punto exterior.

Ejercicio 10.2 (Berry – Reid): Cimentación FLEXIBLE

Un área rectangular flexible de 8,00 m por 4,00 m se carga con 40 kN/m². El piso es un estrato arcilloso de $Z = 20,00$ m. La arcilla es saturada y tiene un módulo E no drenado de 3500 kN/m² y $\mu = 0,5$. Calcule $\Delta\sigma_v$ bajo el centro y bajo la esquina del área cargada, a $Z = 5,00$ m.

También el asentamiento diferencial inmediato entre el centro y la esquina.

**Solución:**

a) Las cuatro sub-áreas son iguales; C = centro; E = esquina.

Punto	B * L	Z	m	n	l_0	$\Delta\sigma_v = q l_0$
E	4 * 8	5	0,8	1,6	0,175	7 /

b) Asentamiento inmediato de la superficie, para área rectangular, (Ecuación 10.16) con cimentación flexible y con estrato finito: STEINBRENNER.

Como la arcilla es saturada, $\mu = 0,5$; entonces $I_s = F_1$; (fórmula 10.17)

Pto	B * L	H	L / B	H / B	$I_s = F_1$
E	4 * 8	20	2	5	0,525
C	2 * 4	20	2	10	0,640 * 4

Formula (10.18): Se aplican aquí los valores de I_s anteriores

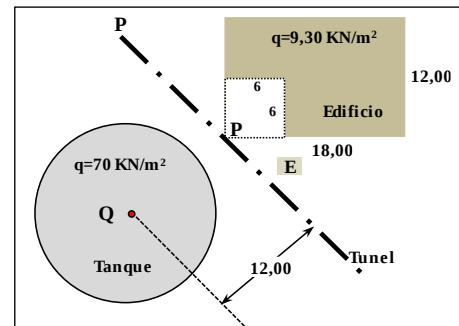
$$S_{0_E} = \frac{q * B(1 - \mu^2)}{E} I_s = \frac{40 * 4 * (1 - 0,5^2)}{3500} 0,525 = 0,018m$$

$$S_{0_C} = \frac{q * B(1 - \mu^2)}{E} I_s = \frac{40 * 4 * (1 - 0,5^2)}{3500} 0,640 * 4 = 0,044m$$

R // El asentamiento diferencias es $\Delta S = S_{0_C} - S_{0_E} = 26mm$

Ejercicio 10.3 (Berry – Reid,)

Una planta industrial está cimentada sobre un suelo arcilloso, como muestra la figura. Cerca al edificio, orientado E-W, y al túnel PP', orientado N 45° W, se construirá un tanque de 18,00 m de diámetro, tal que la distancia QP = 12m tenga rumbo N 45° E. La cimentación está hecha sobre arcilla homogénea de gran potencia (H) la que cruza el túnel a 12 metros de profundidad. La cimentación del tanque será flexible y superficial. Calcule $\Delta\sigma_v$ en P a una profundidad $Z = 12m$ y calcule S_0 en P y Q, en caso de construir el tanque.



Solución: Para P con $Z = 12m$, se calcula σ_v (total) = σ_{VP}

1) σ_v = sobrecarga + incremento por edificio + incremento por tanque .:

$$\sigma_{V_P} = \sigma_{V_0} + \Delta\sigma_{VE} + \Delta\sigma_{VT} = 223,67 + 3,45 + 12,60 = 239,72 \text{ KN/m}^2$$

a $\sigma_{V_0} = \gamma_{SAT} Z = \rho_{SAT} * g * Z$

b $\Delta\sigma_{VE} = \Delta\sigma_{rect} - \Delta\sigma_{cuadrado}$

c $\Delta\sigma_{VT} = \Delta\sigma_{V \text{ NEWMARK (O FOSTER - A)}}$

(a) $\sigma_{V_0} = \gamma_{SAT} Z = 1,9 * 9,81 * 12 = 223,67 \text{ KN/m}^2$

(b)

FIG	L	B	Z	$m = \frac{B}{Z}$	$n = \frac{L}{Z}$	I_0	q	$I_0 * q$	$\Delta\sigma_P$
RECT	24	12	12	1	2	+ 0,198	30	+ 5,94	$\rangle 3,45 \text{ KN/m}^2$
CUAD	6	6	12	0,5	0,5	- 0,083	30	- 2,49	

(c) Tanque: La escala $AB = Z = 12m$

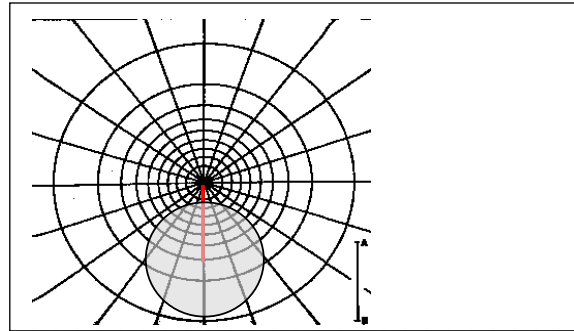
(d) Newmark: La escala $AB = A = 12m$. Luego
 $\phi_{tanque} = \frac{18}{12} AB = 1,5AB$.

↑

Dibujo PQ a escala. $PQ = 12m = AB$ (P en el origen) a la distancia PQ dibujo el tanque ($\phi = 1,5 AB$).

(Chequeo)

Contamos cuadrilongos: $n = 36$



$$\Delta\sigma_{VT} = q I n = 70 * 0,005 * 36 = 12,60 \frac{KN}{m^2}$$

FOSTER – A.: $R = 12m$; $r = 9m$; $Z = 9m \therefore \frac{Z}{r} = 1\frac{1}{3}; \frac{R}{r} = 1\frac{1}{3}; I_0 = 0,18$

$$\Delta\sigma_{vf} = q I_0 = 70 * 0,18 = 12,60 \frac{KN}{m^2}$$

2) Asentamiento: (utilizo ábaco de Scott, figura 10.20). Los asentamientos por las estructuras anteriores ya se dieron. El asentamiento inmediato por el tanque solamente en la superficie (figura 10.22), se puede calcular con el ábaco de Terzagui para espacio semi infinito, que es el a). (Suponemos H indefinido).

$$q = 70 \frac{KN}{m^2}; \quad R = 9m; \quad E = 5500 \frac{KN}{m^2}; \quad \mu = 0,5; \quad \frac{H}{R} = \infty \quad \text{Entonces}$$

$$S_0 = \frac{q * R}{E} (I_0) = \frac{70 * 9}{5500} (1,5) = 0,172m \quad (\text{para } X = 0; \text{ punto Q})$$

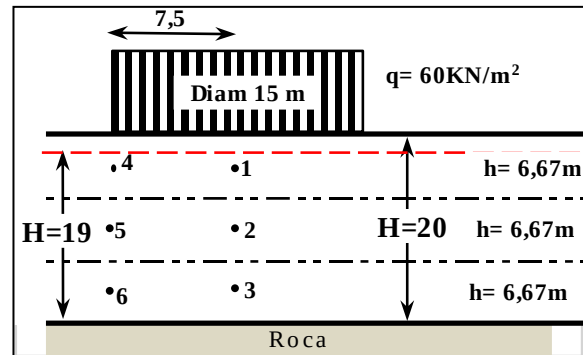
$$S_0 = \frac{q * R}{E} (I_0) = \frac{70 * 9}{5500} (1,0) = 0,115m \quad (\text{para } X = R; \text{ borde})$$

$$S_0 = \frac{q * R}{E} (I_0) = \frac{70 * 9}{5500} (0,75) = 0,086m \quad (\text{para } X = 12m; \text{ punto P})$$

Ejercicio 10.4 (Berry – Reid, ejemplo 4.3).

Un tanque de petróleo de base flexible (fig E 10.4) se cimenta en arcilla blanda NC que descansa sobre roca. El NAF está 1,00 m abajo del terreno. Calcule los asentamientos máximos y diferencial para el tanque, si la arcilla tiene:

$\rho_{SAT} = 1,90 \frac{Mg}{m^3}$ $C_c = 0,2$. La muestra de arcilla se obtuvo a $Z = 3,5m$ (*); $E = 2500 \frac{KN}{m^2}$;



$A = 0,7$ (SKEMPTON). Los ensayos de $e - \sigma'_v$, en laboratorio, dieron:

σ'_v (KN/m^2)	25	50	100	200	400
e	1,06	1,03	0,97	0,91	0,85

$\Rightarrow$ { datos para obtener
 m_v , para un determinado o
nivel de σ_v

Solución.

Se consideran aquí CONSOLIDACIÓN y ASENTAMIENTOS (Figura 10.19)

Asentamiento inmediato, por carga circular (Sección 10.14)

$q = 60 \frac{KN}{m^2}$; $R = 7,5m$; $E = 2500 \frac{KN}{m^2}$; $H = 20m$; $H/R = h = 2,67m$

$\mu = 0,5$ (arcilla saturada); $I_0 = f(H/R; \mu; X)$, interpole situaciones de los ábacos b) y c), que tienen $H/R = 5$ y $H/R = 2/3$ (es aproximado)

INTERPOLACIÓN DE I_0 Con $\mu = 0,5$ en b) y c)	$\frac{H}{R} = 5$ I_0	$\frac{H}{R} = \frac{2}{3}$ I_0	$\frac{H}{R} = \frac{20}{7,5} = 2,67$ $5 > 2,67 > \frac{2}{3}$ El valor I_0 está en este rango
Centro del tanque $\rightarrow X = 0$	1,07	0,28	$0,28 + \frac{(1,07-0,28)(2,67-\frac{2}{3})}{(5-\frac{2}{3})} = I_0$
Borde del tanque $\rightarrow X = R$	0,64	0,06	$0,06 + \frac{(0,64-0,06)(2,67-\frac{2}{3})}{(5-\frac{2}{3})} = I_0$

Centro del tanque $\Rightarrow I_0 = 0,615$ (valor intermedio entre 1,07 y 0,28)

Borde del tanque $\Rightarrow I_0 = 0,353$ (valor intermedio entre 0,64 y 0,06)

Con estos factores de influencia, podemos calcular S_0 , así:

$$\text{Centro del tanque } S_0 = \frac{q \cdot R \cdot I_0}{E} = \frac{60 \cdot 7,5 \cdot 0,615}{2500} = 0,111m$$

$$\text{Borde del tanque } S_0 = \frac{q \cdot R \cdot I_0}{E} = \frac{60 \cdot 7,5 \cdot 0,353}{2500} = 0,064m$$

Asentamiento por consolidación (ábaco de Scott, figura 9.20)

Para cimentación circular, el espesor necesario es $h_0 = \frac{B}{2} = \frac{15}{2} = 7,5m$.

Como $H = 20m$, se requiere considerar un máximo de 3 capas, por lo que $h = 6,67m$ (ver figura)

El incremento de $\Delta\sigma_v$ en el plano medio de cada subcapa (puntos 1 a 6), se determina con el diagrama de Newmark (Figura 9.15, con $AB = Z$ variable).

Para una arcilla NC, m_v promedio (para nuestro caso son 3 valores) se obtiene en el plano medio (Z_1, Z_2, Z_3). A esa profundidad se tienen 2 valores de σ'_v (antes y después del tanque): σ'_{vi} y σ'_{vf} . Luego:

$$m_v = \frac{\Delta e}{1 + e_0} * \frac{1}{\Delta \sigma'_v} = \frac{C_c \log\left(\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_{vi}}\right)}{(1 + e_0) \Delta \sigma'_v} \quad (\text{Ver Sección 8.13})$$

$$\Delta S_{CONS} = \mu_0 m_v h \Delta \sigma_v \quad (\text{tomando } \Delta \sigma \text{ por } \Delta \sigma')$$

$$\Delta S_{CONS} = \frac{\mu_0 * C_c * h}{(1 + e_0)} \log\left[\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_{vi}}\right] \quad (1)$$

$$S_{CONS} = \sum_1^3 \Delta S_{CONS}$$

Se obtienen los siguientes valores para los 6 puntos, así:

Punto	Z (m)	n #	E ₀	ANTES /			DESPUES /			ΔS_{CONS} (m)	
				σ_{vi}	U	σ'_{vi}	$\Delta \sigma_v$	σ_{vf}	σ'_{vf}		
1	3,34	188	1,05	62,25	22,96	39,29	56,40	118,65	95,69	0,211	(1)
2	10,00	100	0,97	186,39	88,29	98,10	30,00	216,39	128,10	0,063	(2)

3	16,67	48	0,93	310,91	153,72	156,99	14,40	325,11	171,39	0,021	(3)
4	3,34	84	1,05	62,25	22,96	39,29	25,20	87,45	64,49	0,112	(4)
5	10,00	55	0,97	186,39	88,29	98,10	16,50	202,89	114,60	0,037	(5)
6	16,67	35	0,93	310,71	153,72	156,99	10,50	321,21	167,49	0,016	(6)

NOTAS:

Z = La profundidad de cada punto.

n = El número de cuadrilongos en el diagrama de Newmark.

e_0 = Relación de vacíos.

σ_{vi} = Esfuerzo total inicial ($\sigma_v = \gamma_{SAT} Z$).

U = presión de poro que es $(Z - 1)\gamma_w$ y que juega dos veces en $\sigma - U$.

σ'_{vi} = Esfuerzo efectivo inicial ($\sigma_{vi} - U$).

$\Delta\sigma_v = q \times I_0 \times n$, el incremento del esfuerzo efectivo vertical.

$\sigma_{vf} = \sigma_{vi} + \Delta\sigma_v$, el esfuerzo total final.

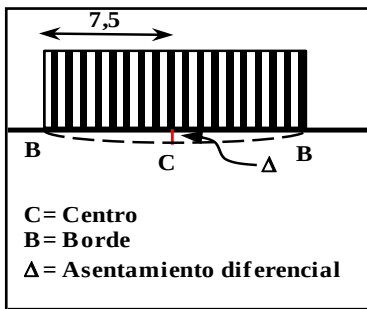
$\sigma'_{vf} = \sigma_{vf} - U$ es el esfuerzo efectivo final.

Los esfuerzos en $\frac{KN}{m^2}$

h) Por lo tanto

Asentamiento por consolidación bajo el centro del tanque (1) + (2) + (3):

$$S_{CONS} = \sum_1^3 \Delta S_{CONS} = 0,201 + 0,063 + 0,021 = 0,285m$$



Asentamiento por consolidación bajo el borde del tanque (4) + (5) + (6)

$$S_{CONS} = \sum_1^3 \Delta S_{CONS} = 0,112 + 0,037 + 0,016 = 0,165$$

ASENTAMIENTOS TOTALES

$$S = S_0 + S_{CONS} \quad (\text{Fórmula (10.16)})$$

$$S_C = 0,111 + 0,285 = 0,396m$$

$$S_B = 0,064 + 0,165 = 0,229m$$

$$S_D = S_C - S_B = 0,167m$$

C = Centro del tanque

B = Borde del tanque

D = Asentamiento diferencial

Ejercicio 10.5: (Berry – Reid, ejemplo 4.4.) Cimentación rígida.

La zapata de la figura es de concreto y recibe una columna vertical. La zapata es cuadrada y está cimentada en una arcilla completamente saturada, cuyo basamento es una arenisca. La arcilla tiene en el registro $E = 10500 \text{ KN/m}^2$, $A = 0,4$ (Skempton), $m_v = 0,00012 \text{ KN/m}^2$. Desprecie la diferencia de densidades entre concreto y arcilla, calcule el asentamiento total $S = S_0 + S_{CONS}$.

Solución.

En cimentación rígida, no hay asentamiento diferencial y basta calcular S en el centro, como si fuera cimentación flexible para tomar el 80% del valor (Sección 10.11)

Asentamiento inmediato (Steinbrenner) partiendo la zapata

$$S'_0 = \frac{q * B(1 - \mu^2)}{E} I_s \quad \text{donde} \quad I_s = F_1 + \left[\frac{1 - 2\mu}{1 - \mu} \right] F_2$$

Pero

$$q = \frac{520}{2 * 2} = 130 \text{ KN/m}^2; \quad \mu = 0,5 \text{ (arcilla saturada); espesor del estrato } H = 12,5 \text{ m}$$

$$E = 10500 \text{ KN/m}^2; \quad I_s = F_1 \text{ (porque } \mu = 0,5); \quad B = 2/2 = 1\text{m}; \quad F_1 = 0,49$$

$$S'_0 = \frac{130 * 2(1 - 0,25)}{10500} (0,49) = 0,0046 \text{ m} \quad (\text{en la esquina})$$

NOTA: En el ábaco de Steinbrenner, con $H/B = 12,5$ y $L/B = 1$ obtengo $F_1 = 0,49$, que es el valor de I_s para una esquina (Figura 10.21).

Se tomó $B = 1,00 \text{ m}$ porque el ábaco no permite calcular el centro sino la esquina.

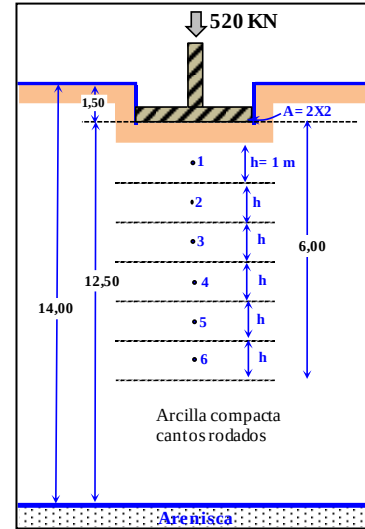
Luego, parto en 4 la zapata y realizo el cálculo por superposición.

El asentamiento inmediato en la superficie y en el centro de la zapata es:

$$S_0 = 0,0046 * 4 = 0,018\text{m} \leftarrow (4 \text{ veces } S'_0)$$

Asentamiento por consolidación (Aplico fórmula pág. 9.16)

$$\Delta S_{CONS} = \mu_0 m_v h \Delta \sigma_v$$



μ_0 se obtiene en el ábaco de la figura 10.20 con A y con H/B .

Para $H/B = 12,5/2 = 6,25$ y $A = 0,4$, $\mu_0 = 0,60$ (banda) y $0,53$ (círculo). La zapata es más círculo que faja o banda: $\mu_0 = 0,53$. Asumiendo m_v constante en todo el depósito y tomando $h = 1/2 B$ (cimentación cuadrada), con 6 subcapas (sección 10.11), calculando $\Delta\sigma_v$ en el plano medio de cada subcapa, utilizando el ábaco de FADUM (Figura 10.12).

Punto	Z(m)	B	L	/ B/Z	L/z /	I_0	$\Delta\sigma_v$ /	ΔS_{CONS} (m)
1	0,5	1	1	2,0	2,0	0,229	119,08	0,0076
2	1,5	1	1	0,67	0,67	0,123	63,96	0,0041
3	2,5	1	1	0,40	0,40	0,060	31,20	0,0020
4	3,5	1	1	0,29	0,29	0,037	19,24	0,0012
5	4,5	1	1	0,22	0,22	0,024	12,48	0,0008
6	5,5	1	1	0,18	0,18	0,016	8,32	0,0005

$$\Sigma = 0,0162 \text{ m}$$

Entonces, el asentamiento total de una zapata flexible sería $S = 0,018 + 0,016 = 0,034\text{m}$. Debemos tomar el 80%. El asentamiento real de la zapata rígida, que es el caso, es el siguiente:

$$S = (S_0 + S_{CONS}) * 0,80 = (0,034) * 0,80 = 0,027\text{m} \text{ (valor satisfactorio)}$$

i) Nota

Estos ejercicios sólo ilustran la relación asentamiento–consolidación. Para que una zapata esté adecuadamente proyectada, se requieren dos requisitos:

1. Que Δq_s no supere la capacidad de carga del terreno.
2. Que el asentamiento sea inferior a un cierto valor admisible.

No puede fallar, ni el suelo ni la estructura, en la realidad.

DOCUMENTO DE COMPLEMENTO ON LINE

[El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz](#), Duque Escobar, Gonzalo (2015) Universidad Nacional de Colombia.

[Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia](#), Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Geotecnia para el trópico andino](#), Escobar Potes, Carlos Enrique; Duque Escobar, Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

[Vulnerabilidad de las laderas de Manizales](#), Duque Escobar, Gonzalo (2017) Presentación ante la Comisión Cuarta del Concejo de Manizales, del Jueves 11 de Mayo de 2017.

LECTURA 10: LA ECONOMÍA EN LA ERA DEL CONOCIMIENTO

Gracias al progreso tecnológico, y en particular a al advenimiento de una nueva revolución tecnológica, la economía ha venido evolucionado hacia una nueva economía basada en el conocimiento, en un escenario donde, además de los la globalización económica acompañada de cambios en la estructura económica y en la estructura del empleo, también inciden la globalización de las tendencias ambientales y las determinantes sociales culturales.

Veamos en nuestro caso, inicialmente algo sobre las revoluciones tecnológicas, para luego entrar al tema, a través de la economía verde, naranja y azul.

Desarrollo y revoluciones tecnológicas



Imagen1: Las revoluciones industriales, en <http://economipedia.com>

Se entiende por tecnología el conjunto de instrucciones aplicadas a un proceso productivo; por ejemplo, el café y el bahareque, o la tecnología para el control de la erosión, patrimonio de la región. Ahora, en una perspectiva más global, si entre las tecnologías fundamentales logradas por la humanidad, están el fuego y la rueda, o la agricultura y el pastoreo inventados durante el Neolítico, también uno de los desarrollos más portentosos de la humanidad ha sido el invento de las ciudades cuya evolución es evidente. No obstante, así como desde la invención del fuego, el deterioro del medio ambiente ha resultado significativo, también los problemas contemporáneos asociados a la tecnología, son múltiples: agotamiento de recursos y polución, guerras y exclusión, gasto público e innovación, crecimiento y desarrollo, dependencia y poder, ideología y cultura...

Si miramos la historia del desarrollo, los principales cambios sucedidos después del neolítico, han sido las denominadas revoluciones industriales, de las cuales transcurrieron dos: la primera, impulsada y promovida por la máquina de vapor y la energía hidráulica, cuya importancia radicó en el proceso de transformación económica, social y tecnológica ocurrido en Europa Occidental, Estados Unidos y Japón, ocurrida desde la segunda mitad del siglo XVIII

hasta 1850, cuando se da el paso de una economía rural a otra de carácter urbano, industrializada y mecanizada; y la segunda revolución, que partió de 1870 y cerró con la primera guerra mundial en 1914, donde los impactos de esa naturaleza pero alcance globalizado parten de los procesos de industrialización mediados por innovaciones técnicas intensivas en nuevas fuentes de energía como el gas, el petróleo o la electricidad, y en nuevos materiales, se traducen en una explosión de medios como el avión, el automóvil, el teléfono y la radio.

Y mirando lo que es el desarrollo hoy, diríamos que estamos cerrando el ciclo de una tercera revolución iniciada a mediados del siglo XX: la también denominada revolución científico-técnica que ha servido como detonante de la llamada sociedad de la información, gracias a la conjunción de las TIC y las energías renovables, pero también que estaríamos ad portas de una cuarta revolución industrial marcada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas, puesto que se anticipan cambios estructurales en el mundo que conocemos, y por lo tanto en la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. Así como la tercera revolución industrial partió de la llegada de la electrónica transformando la tecnología de la información y las telecomunicaciones, ahora con la automatización total de la manufactura mediada por los avances de la inteligencia artificial debidos a la ingeniería genética y las neurotecnologías, en las próximas décadas habrá un cuarto giro o revolución que cambiará radicalmente la estructura del empleo, con grandes consecuencias sociales, económicas y ambientales.

Dados el modelo de desarrollo “energívoro y consumista”, con 7.300 millones de personas habitando el planeta que alcanzarán a 9.700 millones en 2050, y una huella ecológica per cápita creciente que ya supera la capacidad global de 2,1 hectáreas bioproductivas por persona, para resolver las demandas futuras de la humanidad en energía, alimentos, hábitat, trabajo... parecen insuficientes las cinco tecnologías fundamentales surgidas desde mediados del siglo XX y previstas hasta el año 2030, que en su orden son: la informática, que nace en 1948 con la invención del transistor; la biotecnología, que surge gracias al microscopio electrónico la ultra-centrifugadora y el espectrómetro de masas; los nuevos materiales, obtenidos en procesos con ambientes a temperaturas extremas e ingravidez, bajo intensos campos magnéticos; las nuevas fuentes energéticas (energía solar y de fusión, biocombustibles, hidrógeno...) modificando el arco energético por fuentes ; y los nuevos espacios, como la órbita geoestacionaria y los fondos oceánicos, importantes para Colombia.

Si queremos futuro, para superar esta sociedad industrial de ayer y entrar con opciones de desarrollo a la sociedad del conocimiento, el primer desafío va más allá de la calidad de la educación, puesto que el actual modelo educativo centrado en los tres objetivos de las pruebas PISA, al olvidar la cultura y las artes no desarrolla el talento humano; y el segundo, debemos implementar estrategias para una reconversión tecnológica del aparato productivo, e implementar un nuevo desarrollo soportado en sinergias entre la economía del conocimiento y las economías verde, digital y naranja.

La economía verde y economía del conocimiento



Imagen2: Selva de Florencia (El tiempo.com), y Laguna de San Diego (Akellarre196).

Aunque un siglo atrás el meridiano económico de Colombia pasaba por el Eje Cafetero, hoy, cuando padecemos una crisis que se explica por no haber incursionado en la transformación y mercadeo de la rubiácea, y quedar solo aplicados al desarrollo de una eficiente caficultura cuyos beneficios capitalizan las multinacionales que controlan el negocio del producto símbolo de nuestra economía, para salir de la actual crisis podríamos intentar acciones y estrategias de desarrollo a partir de acuerdos regionales, si aprovechamos las ventajas naturales y culturales del medio biogeográfico, articulando y reorientando las fortalezas académicas y culturales en la ecorregión cafetera para construir sinergias en el escenario de dos nuevas tendencias globales: la de la sociedad del conocimiento, que emerge conforme palidece la sociedad industrial de ayer, y la del surgimiento de una economía verde asociada a la biomasa, que llevará gradualmente al declive la economía de los combustibles fósiles causantes del calentamiento global.

Evidentemente, las materias primas biológicas, antes que comercializarlas en bruto, deberán ser transformadas por nosotros mismos empleando las capacidades locales para desarrollar plataformas tecnológicas complejas basadas en la bioingeniería, propiciando un desarrollo autóctono que debe empezar por la transformación del café colombiano, tal cual lo hacemos ahora en la planta de café liofilizado en Chinchiná. A modo de reflexión, mientras promovíamos en tiempos de Lucho Herrera con la camiseta tricolor nuestro café pergamino, un producto que no aparecía en los supermercados, países no productores tomaban ventaja transformado y comercializando el café venido de nuestros países: hoy aparecen como primer productor de café soluble en el mundo Alemania, y como el más notable por los cafés exquisitos de variados y reconocidos sabores, Italia.

Pero podemos integrar la economía verde y la economía del conocimiento, primero porque en cuanto al medio biótico, contamos con 38 cuencas pertenecientes al medio tropical andino biodiverso, que en medio de zonas de reserva como los parques naturales nacionales de los Nevados, Tatamá y Bosque de Florencia, ecosistemas acuáticos y de páramo, bosques alto andinos húmedos y secos, y manchones de guaduales, aunque fuertemente fragmentados pueden ser complemento de estrategias de conservación y desarrollo sostenible. Y segundo, dado que en lo cultural, además de la herencia asociada al carácter triétnico del territorio, gracias a la conurbación del Eje Cafetero hacen presencia instituciones como Cenicafé, importantes universidades públicas como la U.N. sede Manizales, U. de Caldas, U. Tecnológica de Pereira, U. del Quindío y U. del Tolima, y otras instituciones privadas de educación superior

donde existen programas clave para incursionar en el terreno de la biotecnología, aplicada a procesos industriales, médicos, agrícolas o ambientales.

Esta tarea no resulta fácil, por dos razones: en lo interno, por dificultades humanas no solo para articular esfuerzos entre sectores productivos, académicos y gubernamentales, sino y sobre todo entre grupos de trabajo académico aplicados a la investigación, que perteneciendo a una misma institución o a la misma ciudad, no comparten recursos complementarios, sin pensar que desatender las demandas sociales en materia de desarrollo conduce a una postura ética cuestionable por tratarse del uso de recursos públicos. Y en lo externo, por el colonialismo que se ejerce a través de las fuerzas del mercado por poderosas multinacionales que están invirtiendo en nuevas plataformas tecnológicas para transformar la biomasa, afectando derechos y culturas de comunidades vulnerables del planeta, caso Monsanto, Wal-Mart, Solazyme, Evolva SA, Amyris y otras, tal cual lo señala el Grupo ETC en múltiples documentos publicados en www.etcgroup.org

Además del Paisaje Cultural Cafetero, que es una propuesta verde, entre otras para el Eje Cafetero, he creído en el desarrollo de la química del carbono en el campo de los alcoholes, complementando los enfoques de Santander en la UIS y Ecopetrol aplicados a la petroquímica, y de las universidades de Antioquia a la química del carbón mineral. En el marco de esa idea la Universidad Nacional presentó un portafolio de proyectos a la Industria Licorera de Caldas (2012), para abordar su reconversión empresarial y tecnológica, con estrategias como transformar productos de la región, por ejemplo, la papa en vodka, y avanzar más allá de los licores, dado que en la química de los alcoholes las opciones pasan por biocombustibles, sucroquímica, alimentos, medicamentos y productos industriales.

De la economía marrón a la naranja



Imagen3: Colombia Biodiversa Mincultura.gov.co & Samoga Unal.edu.co

Veamos algo sobre la economía naranja, una herramienta de desarrollo económico que soporta sus procesos en la cultura y la creatividad y, al tiempo, un concepto propio de la actual sociedad del conocimiento. Esto, dada su importancia para trazar una agenda pública concertada en la cual el Estado priorice la solución a las problemáticas socioambientales del territorio. Para empezar, definamos economía verde, como el estudio y valoración de la sustentabilidad, y economía naranja, como el sector de la economía creativa que involucra la generación de ideas y conocimiento. Este par de conceptos, que vienen con el cambio del milenio y que caracterizan la transición de una economía energívora hacia una economía

sostenible post-carbono, superan con creces el alcance de la llamada economía marrón, entendida como la administración eficaz y razonable de los recursos a través del uso eficiente de insumos, capital físico y trabajo.

En el año 2015, las industrias de la economía naranja fueron un importante motor del desarrollo económico en América Latina y El Caribe: generaron 1,9 millones de empleos, e ingresos por 124.000 millones de dólares; de ahí la importancia de la Ley Naranja (Ley 1834 de 2017) como una apuesta de política pública para proteger la propiedad intelectual y generar valor agregado a partir de la creatividad y la cultura en el país, dado que en Colombia dicho sector, que en 2012 representó cerca de 1,6 % del Producto Interno Bruto PIB gracias a unas dinámicas tras un lustro de crecimiento en el cual los servicios crecen el doble que los bienes asociados, representa cerca del 3,3 % del PIB, cifra más representativa que la de la generación eléctrica que es 2%, y que la del cultivo del café, ya que una cosecha de 14,2 millones de sacos como la de 2015, sólo representó el 0,8% del PIB.

Mientras la economía marrón, al no tomar en consideración las variables ambientales y sociales en la gestión del desarrollo, no puede corregir los patrones de acumulación y desigualdad vigentes, y la economía verde al no incorporar elementos de redistribución de la riqueza ni estrategias de equidad, entra en profunda contradicción con su objetivo de lograr la sustentabilidad en un mundo de recursos limitados, contrariamente mediante la innovación, con la economía naranja como complemento, surge un nuevo escenario de oportunidades de transformación y desarrollo al alcance de las economías de los países subdesarrollados y de los medios rurales, a partir de la creatividad y la innovación orientadas a la generación de bienes y servicios que aprovechen la oferta natural y cultural del territorio, lográndose la implementación de modelos económicos alternativos basados en el conocimiento como factor de producción, y por lo tanto en el talento humano.

Sabemos que, aunque las tecnologías fundamentales de la sociedad industrial de ayer, tardaron décadas para entrar en escena, otras asociadas a la sociedad del conocimiento como la informática y la biotecnología, han mostrado una dinámica creciente caracterizada por la velocidad en su adaptación y expansión. Ahora, si con las TIC, el tránsito de la economía marrón a las economías verde y la naranja, soportado en la economía digital, se ha dinamizado, será clave comprender el momento en que nos encontramos para trazar políticas públicas de impacto social y ambiental, no sólo pensando en el crecimiento sino también en el desarrollo, lo que supone crear capital social y democratizar las oportunidades, en la actual transición entre la tercera y la cuarta revoluciones industriales.

Lo anterior, que sirva para que en este territorio valoremos la importancia de la educación como estrategia de desarrollo humano, y apoyemos el esfuerzo de las universidades de investigación, de los gestores del teatro, los procesos ya consolidados con las bandas de nuestros municipios, la producción literaria, las artes y el diseño, y la necesidad imperante de certificar nuestras artesanías e impulsar otras manifestaciones culturales y actividades de reconversión productiva, que le dan soporte al Paisaje Cultural Cafetero, para intentar por lo menos la configuración de un punto de inflexión para el tránsito de una "sociedad de tecnología dura" como la de los medios fundamentalmente urbanos, a una "sociedad de tecnología blanda" típica de los ambientes rurales, donde las metodologías consideran las interacciones humanas y los procesos sociales, en beneficio de nuestra comarca.

La economía azul en la esfera de la producción

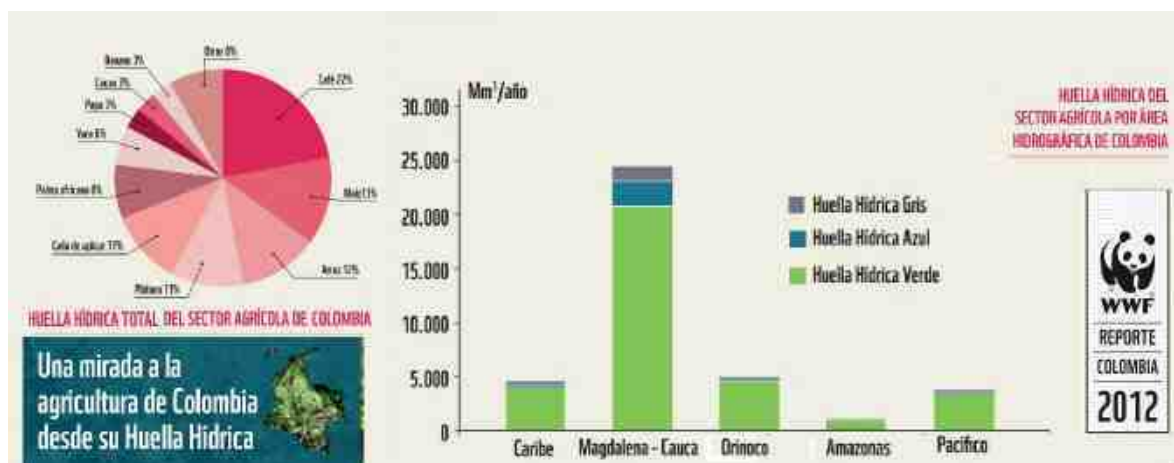


Imagen4: Huella Hídrica de la agricultura en Colombia. WWF 2012.

No se trata de la economía asociada a nuestros mares y ríos, ni tampoco a la del agua que participa con el 10% del PIB en Colombia incluyendo el 2% de la hidroelectricidad, y cuyos costos ambientales son el 3,5% y los ocultos el 1% relacionados con la calidad del vital líquido; se trata de la novedosa propuesta de Gunter Pauli, sobre una economía asociada a procesos que vinculen los residuos a la cadena de producción y donde los desperdicios o la basura no existen, dejan de ser despojos inutilizables que se incorporan a la cadena de valor. La economía azul reduce los costos sociales y económicos por el bienestar perdido como consecuencia de la degradación de los paisajes terrestres y marinos y la contaminación del aire, y los costos ambientales por el incremento y manejo de la eutrofización de cuerpos de agua y suelos, mayores costos de producción por reducción de emisiones y tratamiento de residuos, y pérdida de patrimonio natural biótico, hidrológico y edáfico.

Colombia como potencia bioceánica, aunque empieza a hablar de la economía azul, sólo desde principios de siglo cuando se generaron los lineamientos de la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros, apenas ahora logra integrar en el Plan de Desarrollo, la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros: al reconocer que el país, pese a su potencial hídrico está geográficamente fragmentado, por lo que busca integrar y conectar las hidrovías con los modos de transporte terrestre y sus mares.

Pero hay otra economía azul diferente que va más allá de los mares y ríos concebidos como motor del desarrollo, e incluso de la "Colombia Anfibia", ese maravilloso estudio del IAvH que reconoce la importancia y la fragilidad de nuestros ecosistemas: se trata de aquella que propone otro relacionamiento de la cultura con la naturaleza para comprender su gran potencial productivo, haciendo de los residuos otra fuente de riqueza si se articula a la creatividad y a la innovación con la idea fundamental de lograr una producción de bienes y servicios eficiente, ambientalmente sostenible y socialmente responsable.

Se trata del modelo del belga Gunter Pauli, autor de "La economía azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos", un concepto socio-económico propuesto en 1994 soportado en un planteamiento más profundo, que va más allá de la ineficiente y onerosa economía verde donde se obliga a la empresa privada a hacer grandes esfuerzos económicos, incurriendo en costos ambientales para que sus productos sean respetuosos con el medio ambiente; contrariamente, la economía azul al ser más eficiente produciendo para todos en la

agricultura y la manufactura, es una apuesta por innovaciones, que inspiradas en la naturaleza impliquen bajos costos, generen empleo, amplíen el capital de las empresas y produzcan beneficios, a partir de la utilización de productos locales para satisfacer la demanda del lugar.

Mientras en la economía verde se propende por el bienestar social, la reducción de los riesgos medioambientales y las amenazas ecológicas, el uso eficiente de los recursos y la disminución de las emisiones de carbono a un alto costo, que trasladado al consumidor privilegia un mercado de élites; en la economía azul el modelo parte de la Iniciativa e Investigación de Emisiones Cero ZERI, de conformidad con las ideas de Pauli. Allí los impactos socioambientales y económicos se logran cuando los residuos dejan de ser despojos inutilizables para convertirse en recursos del ciclo de producción que se incorporan a la cadena de valor.

Los fundamentos de este innovador modelo, son:

En lo social: el modelo es socialmente responsable y compatible con una economía de pleno empleo; en el sistema natural cada riesgo motiva la innovación; el aire, el agua y el suelo son bienes comunes; la naturaleza, al ser ambientalmente resiliente, optimiza recursos y procesos para orientarse hacia las necesidades básicas.

En lo ambiental: el agua como principal soluble sirve de catalizador; en la naturaleza todo está conectado; la gravedad y la energía solar son el principal recurso; la naturaleza es realmente diversidad y está sujeta a cambios constantes; las soluciones parten de la física, la presión y la temperatura del lugar; y los sistemas naturales no responden a procesos lineales.

En lo económico: el modelo cosecha los bienes y recursos del patrimonio natural, para reemplazar por “nada” cada recurso; en la naturaleza un proceso tiene múltiples usos, todo es degradable en el tiempo, y los desperdicios o la basura no existen; la naturaleza trabaja solo con lo disponible, persigue las ventajas de la diversificación, y promueve una economía de pleno empleo.

En suma: la economía azul, no solo propone sino que también desarrolla proyectos empresariales en diversos sectores, demostrando la viabilidad de un modelo empresarial sostenible y competitivo, de producción ecológica amigables con el medio ambiente, generador de bienes accesibles, y de beneficios medioambientales, financieros y sociales: se han implementado proyectos como el cultivo de hongos comestibles a partir de desechos de café, e intervenido procesos de transformación reutilizando desechos mineros o agrícolas, además otros con ahorro de combustible y reducción de emisiones contaminantes, mostrando que el país innovador y creativo y la región tienen una nueva alternativa compatible con la economía naranja.

EPÍLOGO

En medio del lento crecimiento, la progresiva desigualdad y la emergencia ambiental como factores que afectan la economía y la sociedad, Colombia puede emprender una recuperación transformadora, con igualdad y sostenibilidad, basada en una combinación de políticas integrales que generen impactos cuantitativos sobre el crecimiento, la distribución del ingreso y el sector externo, sin recurrir a medidas inflacionarias, siempre y cuando se fortalezca el papel del Estado, y se construyan consensos incluyentes para apoyar con estrategias

macroeconómicas, sectores estratégicos con responsabilidad social y ambiental, y particularmente con un viraje hacia la economía del conocimiento.

Ahora, en relación con la economía creativa, sector donde el gobierno ha priorizado la economía naranja, cuya importancia radica en la posibilidad de expandir su participación en el PIB del 3,2% al 7% en la década 2020-2030, no sólo habrá que resolver la desigual dotación de los inputs necesarios para el desarrollo de las actividades intensivas en conocimiento, sino también identificar los clústeres innovadores que pueden perdurar, ya que la clave estaría en el carácter estratégico de las industrias de alta complejidad tecnológica, en los servicios intensivos en conocimiento y en las industrias culturales. Sobre este asunto, ahora más que nunca, vemos la importancia de la conectividad y transformación digital, como factores que se convierten en nueva realidad y exigencia para los empresarios.

Pero el problema de la economía a más largo plazo, pasa por cuatro escenarios: 1- una deuda externa que ya ha llegado a límites impensables, al ubicarse en U\$150 mil millones tras un crecimiento del 53,7% (30% pública y 23,7% privada); 2- una caída de la inversión extranjera que en los dos últimos lustros al pasar de una media de U\$10 mil millones a tan sólo U\$6 mil 300 millones, se ha reducido más del 34%; 3- el costo de la pandemia que ya supera los \$33 billones, gravitando sobre el recaudo de una gran reforma tributaria, aún por implementar; y 4- un horizonte poco esperanzador de la locomotora del petróleo, que con el carbón en una proporción que supera 2 a 1, responde por el 47% de nuestras exportaciones.

Como conclusión, si bien hemos hecho anotaciones al corto plazo, para una verdadera reconstrucción post-pandemia, habrá que reconsiderar la función redistributiva del Estado para poder cambiar el perfil de nuestra economía, caracterizada como proveedora de materias primas y mano de obra barata, favoreciendo la funcionalidad del capitalismo global, haciendo de esta crisis sin precedentes en Colombia y en el mundo subdesarrollado una oportunidad, para cambiar de dirección implementando, además de cambios profundos en el modelo educativo, un modelo de desarrollo apalancado en políticas públicas que favorezcan un cambio de primer orden, con transformaciones sociales y ecológicas.

* Referencias: (1) La Patria. Manizales, 2017.12.18; (2) La Patria. Manizales, 2013.12.30; (3) La Patria. Manizales, 2018.02.12; (4) La Patria. Manizales, 2019.11.18.

...

ENLACES U.N.

Aerocafé en tiempos de pandemia.	El inestable clima y la crisis del agua.	Plan de CT&I y TIC en Caldas.
Ciencia y tecnología en la sociedad del conocimiento.	El ocaso de la universidad pública.	Reflexiones sobre tecnología y medio ambiente.
Conocimiento y prosperidad en Colombia.	El porqué de los aguaceros en Colombia.	Sinergia y pertinencia en las ciencias básicas.
Del antropocentrismo al biocentrismo.	Navegando el Río Grande de la Magdalena.	Un nuevo modelo educativo.
		Un TIM verde para el POT.

CAPÍTULO 11

CIRCULO DE MOHR

11.1 ESFUERZOS NORMALES Y TANGENCIALES EN EL SUELO

Notación:

σ = Sigma = Esfuerzo normal o directo a la superficie.

τ = Tau = Esfuerzo de cizalladura o cortante a la superficie.

$\sigma > 0$ = Compresión; $\sigma < 0$ = Tracción.

τ_{zx} = Cortante en la dirección X, sobre el plano Z (el plano Z es el plano X-Y).

σ_z = Esfuerzo normal y en la dirección Z.

Sobre las caras del cubo existen 9 elementos (fig. 11.1), las que se pueden escribir así:

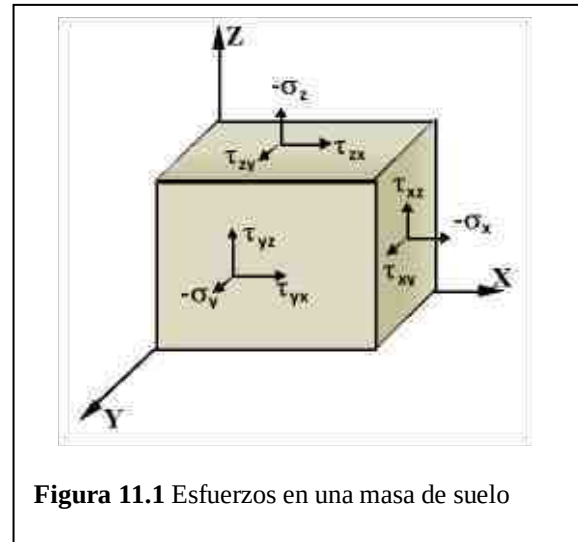
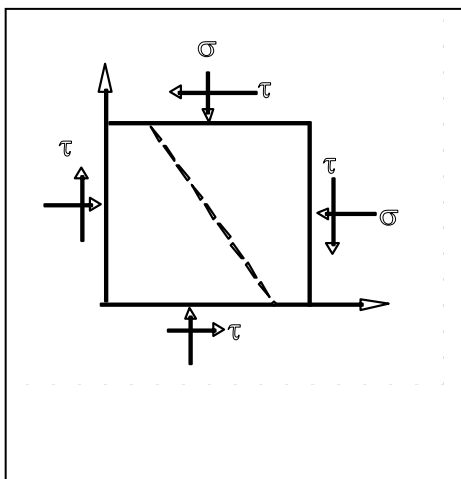


Figura 11.1 Esfuerzos en una masa de suelo

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \sigma = \text{Tensor general de esfuerzos en } R^3 \quad (11.1)$$



Tomando momentos (esfuerzo, por área, por distancia) para hacer rotar el cubo en torno a un eje central paralelo al eje Z e igualando a 0 (cero), tenemos que τ_{xy} y τ_{yx} son los dos esfuerzos que pueden hacerlo.

$$[\tau_{xy} * a^2 * a/2] - [\tau_{yx} * a^2 * a/2] = 0$$

$$\text{Entonces:} \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} \quad (11.2)$$

Reduciendo el problema a dos dimensiones únicamente, (11.1) puede escribirse con sólo 3 componentes y no 4, según (11.2).

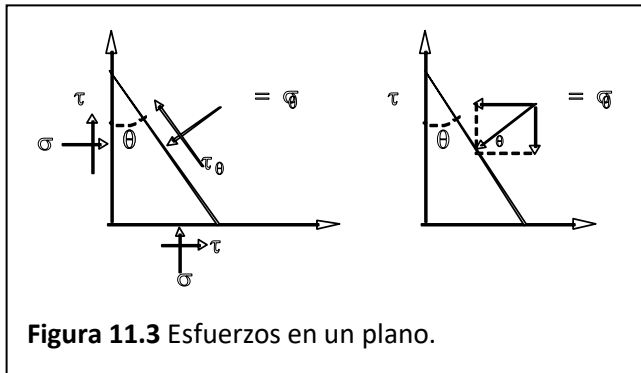
$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix} = \sigma = \text{Tensor de esfuerzos en } R^2 \quad (11.3)$$

En el plano Z (o X,Y), se dibuja las 4 componentes del esfuerzo. En este caso σ_x, σ_y compresivos. τ_{yx} se ha hecho τ_{xy} . Entonces, de las 4 componentes del esfuerzo, tres son independientes: Las de la ecuación (11.3).

La ecuación (10.3) y la ecuación (10.1) se pueden expresar, para los esfuerzos principales, en R^2 y R^3 , así:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \end{bmatrix} \quad y \quad \sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} \quad (11.4)$$

Los tensores expresados en (11.4) suponen una rotación del sistema, hasta que los esfuerzos cortantes se hagan nulos ($\tau_{ij} = 0$), según lo visto en la Sección 9.6.



11.2 ESFUERZOS EN UN PLANO.

El problema es que, conocido el tensor en R^2 , calcular σ_θ y τ_θ , siendo θ el ángulo del plano con el eje Y (o del esfuerzo normal al plano, con el eje X).

NOTA: La matriz de cosenos directores en R^2 es la del coseno del ángulo de $(\sigma_\theta, \tau_\theta)$ con (X, Y) :

$$T_\theta = \begin{bmatrix} \cos x'x & \cos x'y \\ \cos y'x & \cos y'y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(90^\circ - \theta) \\ \cos(90^\circ + \theta) & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$T_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (11.5)$$

Considerando el equilibrio estático, la $\Sigma F = 0$ ∴

$$AB P_X = OB \sigma_X + OA \tau_{XY}; \quad AB P_Y = OA \sigma_X + OB \tau_{XY} \quad (11.6)$$

$$\text{Pero } OA = AB \sin \theta; OB = AB \cos \theta \quad (11.7)$$

Llevo (11.7) a (11.6) y cancelo AB

$$P_X = T_X \cos \theta + \tau_{XY} \sin \theta \quad P_Y = \sigma_Y \cos \theta + \tau_{XY} \sin \theta \quad (10.8)$$

Pero a) $\sigma_n = P_X \cos\theta + P_Y \sin\theta$ b) $\tau_n = P_Y \cos\theta - P_X \sin\theta$ (11.9)

(11.8) en (11.9) $\therefore$ teniendo en cuenta (11.2) y aplicando la identidad de las fórmulas 11.17:

$\sigma_\theta = \sigma_X \cos^2\theta + 2\tau_{xy} \sin\theta \cos\theta + \sigma_Y \sin^2\theta$ que se transforma

$$\sigma_\theta = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} + \frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (11.10)$$

$\tau_\theta = \tau_{xy} (\cos^2\theta - \sin^2\theta) - (\sigma_x - \sigma_y) \sin\theta \cos\theta$

$$\tau_\theta = \tau_{xy} \cos 2\theta - \frac{(\sigma_x - \sigma_y)}{2} \sin 2\theta \quad (11.11)$$

Además, $\operatorname{tg} 2\theta = \frac{-2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)}$ (11.12)

Por convención, los esfuerzos principales son $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$. En R^2 $\sigma_1 \geq \sigma_2$.

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} \quad (11.13)$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} \quad (11.14)$$

A veces es conveniente el análisis de los ejes X e Y en la dirección de σ_1, σ_2 , entonces de (11.10) y (11.11), cuando $\tau_{xy} = 0$:

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\theta \quad (11.15)$$

$$\tau_\theta = -\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\theta \quad (11.16)$$

(11.10), (11.11), (11.13), (11.14), (11.15) y (11.16) se denominan “ECUACIONES PARAMÉTRICAS”

IDENTIDAD	$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta$	$\sin 2\theta = 2\sin\theta \cos\theta$	(11.17)
	$\cos^2 \theta = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\theta)$	$\sin^2 \theta = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\theta)$	

11.2.1 El plano de máximo esfuerzo de cizalladura: Se encuentra con la ecuación (10.16); en ella τ_θ es máximo cuando $\sin 2\theta = 1 \Rightarrow \theta = 45^\circ$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{3} \quad \text{y} \quad \theta = 45^\circ \quad (11.18)$$

11.2.2 Esfuerzo hidrostático: Cuando $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ (en R^3) y no existe cortante en el material ($\tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$). En este caso sólo existe cambio de volumen, elástico o permanente.

11.2.3. Esfuerzo octaédrico: $\sigma_{oct} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3}$ (11.19)

11.2.4 Esfuerzo desviador σ' : Sobre un esfuerzo es del tipo hidrostático, puede darse un esfuerzo adicional normal y en una dirección, llamado esfuerzo desviador σ' , que para la dirección 1 es:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - \bar{\sigma} = \sigma_1 - \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3}$$

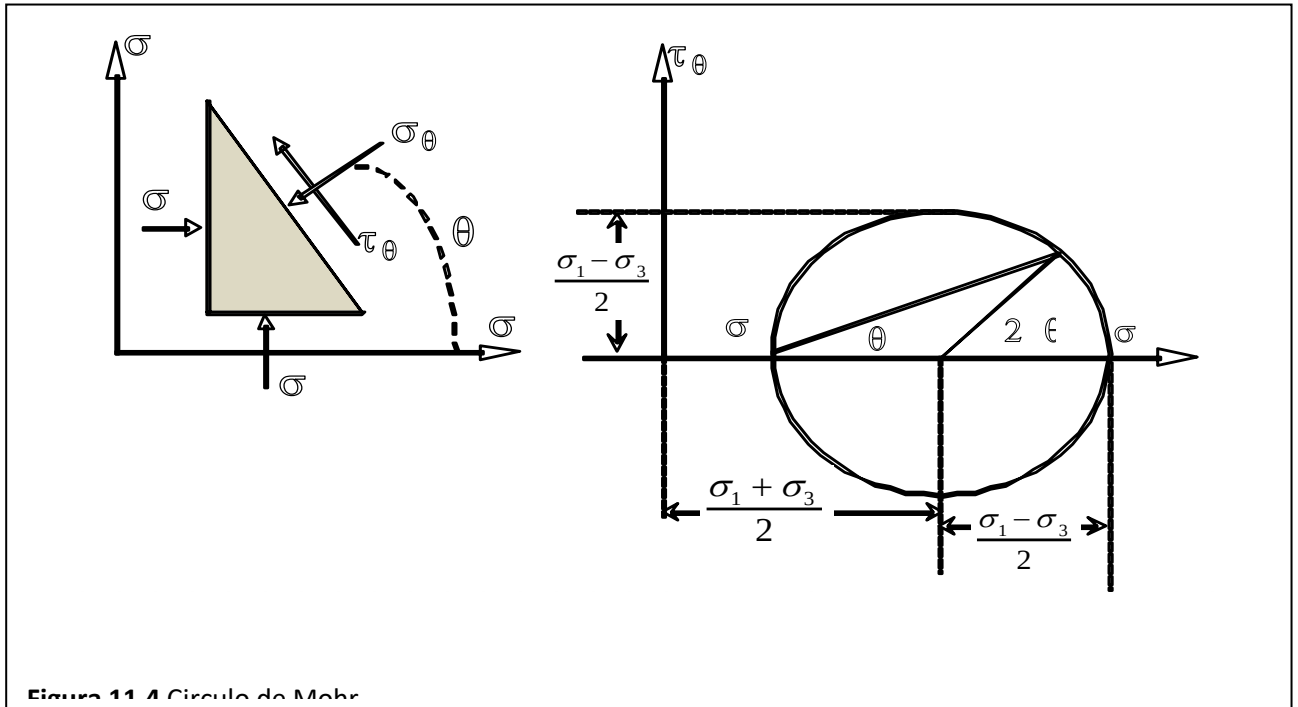
Igualmente:

$$\begin{aligned} & \sigma'_2 = \sigma_2 - \bar{\sigma} = \sigma_2 - \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3} \\ & \sigma'_3 = \sigma_3 - \bar{\sigma} = \sigma_3 - \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3} \end{aligned}$$

(11.20)

NOTA: El octaédrico es un invariante

11.3 CÍRCULO DE MOHR (Estado bidimensional, R^2)



Consideremos el estado de esfuerzos en el PLANO PRINCIPAL de σ_3 , plano en el que actúan los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 , ver Sección 10.6. Asumamos $\sigma > 0$ en compresión y $\tau > 0$ en dirección retrógrada. El esfuerzo desviador es la magnitud $\sigma_1 - \sigma_3$, diámetro del CÍRCULO DE MOHR, cuyo centro es $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$, con ordenada $\tau = 0$ en el plano considerado y que definimos como plano $\sigma_\theta, \tau_\theta$.

Dada la magnitud y dirección de σ_1 y σ_3 se pueden calcular los esfuerzos: normal σ_θ y tangencial τ_θ , en cualquier PLANO “ab” con dirección θ medida en sentido retrógrado a partir de σ_θ , así:

$$\sigma_\theta = \sigma_1 \cos^2 \theta + \sigma_3 \sin^2 \theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta \quad (11.21)$$

$$\tau_\theta = (\sigma_1 - \sigma_3) \sin \theta \cos \theta = -\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta \quad (11.22)$$

Comparando (11.21) y (11.22) con las ecuaciones (11.10), (11.11), (11.15) y (11.16), vemos que se ha tomado σ_3 por σ_2 , para asociarlas al círculo de Mohr.

Entonces, EL CÍRUCLO DE MOHR tiene por circunferencia el lugar geométrico de puntos, como A, que representan los esfuerzos sobre un plano, cuya normal forma un ángulo θ con la dirección del esfuerzo principal mayor σ_1 . El punto A representa al plano “a-b”.

POLO. La noción de polo es de gran utilidad para las construcciones gráficas del CÍRCULO DE MOHR.

El polo es un punto del círculo de Mohr designado por P, con la siguiente propiedad única: una línea trazada a partir del polo paralela a un plano dado en el suelo, cortará el círculo de Mohr en un punto cuyas coordenadas corresponden a las componentes σ y τ del esfuerzo en ese plano.

En consecuencia, existe una relación entre:

1. El estado de esfuerzos en cualquier plano.
2. La dirección de dicho plano del suelo.
3. La posición del polo en el círculo de Mohr.

Ejemplo 11.1:

El punto H tiene coordenadas $(\sigma_z, -\tau_{zx})$ que definen el estado de esfuerzos en el plano cb, por lo que, al trazar por H la línea HP, paralela a la línea cb, obtengo el polo P.

El punto K tiene coordenadas (σ_z, τ_{zx}) que definen el estado de esfuerzos en el plano ac, por lo que al trazar por K la línea KP, paralela a la línea ac, obtengo el polo P.

Ambos puntos P son el mismo; sólo existe un polo (P) único en el círculo de Mohr.

En consecuencia, al trazar por P una línea PA, paralela a la línea ab, obtengo el punto A, cuyas coordenadas son $(\sigma_\theta; \tau_\theta)$ (ambos positivos).

El ángulo α que hace σ_θ con la resultante de σ_θ y τ_θ , es el ángulo AON.

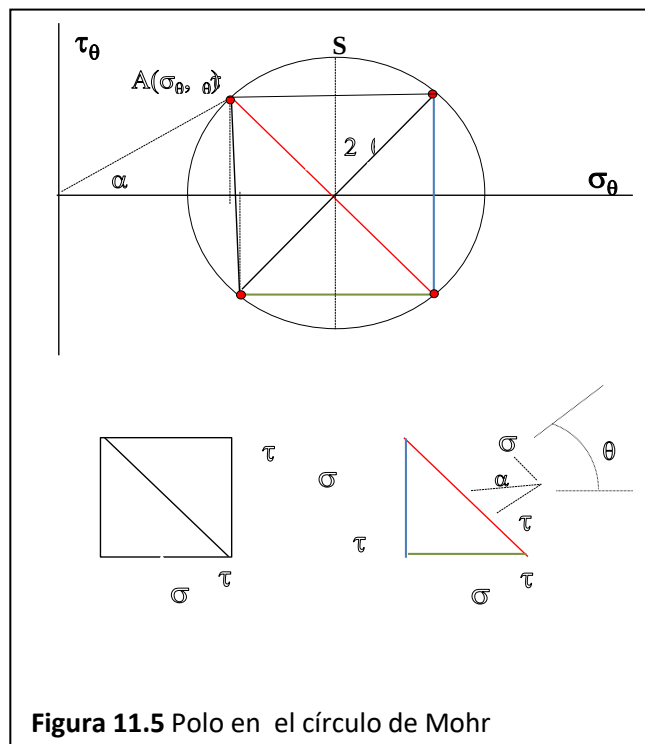


Figura 11.5 Polo en el círculo de Mohr

Los esfuerzos σ_1 y σ_3 son OM y ON. $\tau_{\text{máximo}}$ es $CS = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2}$.

El ángulo θ , es diferente al ángulo α y vale la mitad del arco ACM

El esfuerzo resultante ab está dado por $\sqrt{\sigma_\theta^2 + \tau_\theta^2}$

El $\tau_{\text{máximo}}$ es el radio del círculo de Mohr y este esfuerzo tangencial se produce en planos que forman 45° con el esfuerzo normal mayor σ_1 .

Si el estado de ESFUERZOS es GEOSTÁTICO, los $\tau_{\max}$ estarán sobre planos que hacen 45° con el horizonte y la magnitud de $\tau_{\max}$, dependerá de K, el COEFICIENTE DE PRESIÓN DE TIERRAS

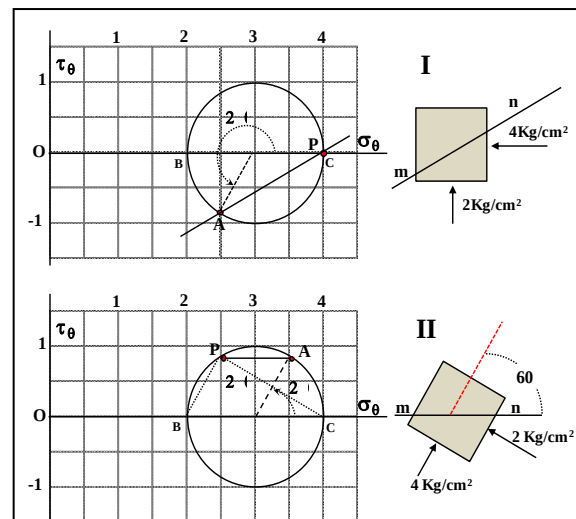
Si $K = 1 \Rightarrow \tau_{\max} = 0$ donde $K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$

Si $K \neq 1 \Rightarrow \tau_{\max} = \frac{\sigma_v}{2} (K - 1)$

Ejercicios 11.2 Para las figuras I y II dadas, obtenga los esfuerzos en el plano mn.

Solución gráfica (Para I y II)

- 1) $\sigma_1 = 4 \text{ Kg/cm}^2$; $\sigma_3 = 2 \text{ Kg/cm}^2$
- 2) dibujo el círculo de Mohr.
- 3) $\tau_{\max} = R = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 1 \text{ Kg/cm}^2$
- 4) Por 2,0 trazo BP paralela al plano sobre el cual actúa el esfuerzo 2,0 $\Rightarrow \sigma = 2$; $\tau = 0$
- 5) Obtengo el polo P donde la paralela BP corta el círculo.
- 6) Por P trazo el plano PA paralelo a "mn" para obtener el punto A.



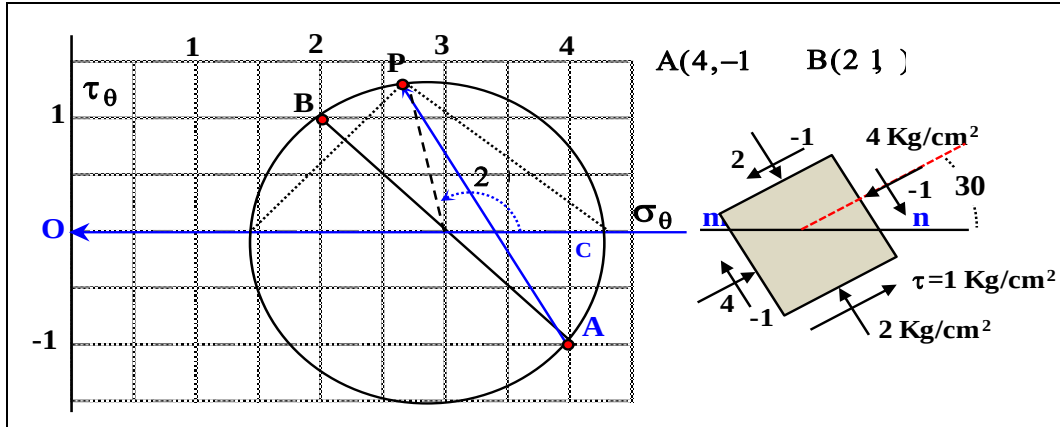
7) Leemos las coordenadas de A, punto que representa al plano mn, esto es:

Caso I : $\sigma_\theta = 2,5 \text{ Kg/cm}^2$; $\tau_\theta = -0,87 \text{ Kg/cm}^2$ $\theta = 120^\circ$

Caso II : $\sigma_\theta = 3,5 \text{ Kg/cm}^2$; $\tau_\theta = 0,87 \text{ Kg/cm}^2$ $\theta = 30^\circ$

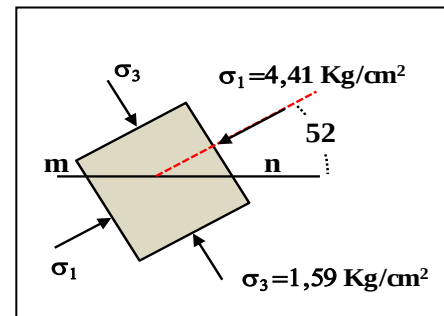
Otra solución: Los pasos 1, 2 y 3 iguales, lo mismo los pasos 6 y 7. El paso 4 puede ser: Por 4,0 trazo CP paralela al plano sobre el cual actúa el esfuerzo 4,0. El paso 5, obtener con CP el polo P y listo.

Ejercicio 11.3. Obtener gráfica y analíticamente σ_1 , σ_2 y θ de la figura:



Solución gráfica.

- 1) Sitúo en el plano los puntos A (4,-1) y B (2,1), que son las caras A y B. Los signos, $\sigma > 0$ en compresión y $\tau > 0$ en sentido retrógrado.
- 2) El diámetro y el radio, gráficamente son definibles, a partir de A y B.
- 3) Por A, trazo AP paralela a la cara A, para obtener el polo P. (Este paso también puede ser: Por B trazo BP paralela a la cara B).
- 4) Uno $P\sigma_1$ y $P\sigma_3$. Estas son dos rectas paralelas a los planos principales sobre los que actúan σ_1 y σ_3 , de magnitudes ya conocidas.
- 5) En el círculo ya se lee $PC\sigma_\theta = 2\theta$ y $P\sigma_2\sigma_1 = \theta$
- 6) Dibujo el elemento de suelo, con θ , σ_1 , σ_2 de acuerdo al círculo de Mohr obtenido.



7) Solución analítica

Con las ecuaciones 11.12, 11.13, 11.14, tenemos:

$$\theta' = \frac{1}{2} \arctan \left[\frac{-2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)} \right] = \frac{1}{2} \arctan \left[\frac{-2(-1)}{(4-2)} \right] = +22^\circ 30' \quad (*)$$

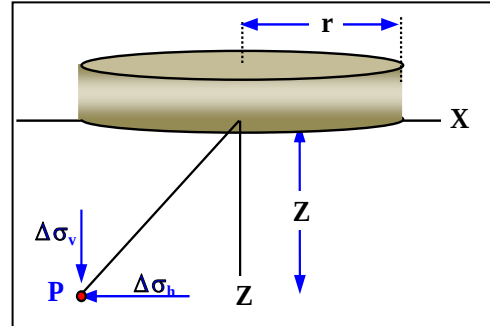
$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}(4+2) + \frac{1}{2}[(4-2)^2 + 4(1)^2]^{\frac{1}{2}} = 4.41 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2]^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}(4+2) - \frac{1}{2}[(4-2)^2 + 4(1)^2]^{\frac{1}{2}} = 4.41 \text{ Kg/cm}^2 = 1.59 \text{ Kg/cm}^2$$

(*) Como el ángulo θ real es el que hace σ_1 con el horizonte, entonces

$$\theta = 30^\circ + \theta' = 30^\circ + (+22^\circ \frac{1}{2}) = 52^\circ \frac{1}{2}$$

Ejercicio 11.4. Se tiene una carga de 25 Ton/m^2 uniformemente repartida sobre una superficie circular de 30 m de radio. Para una profundidad $Z = 30 \text{ m}$ bajo el borde de la superficie cargada calcular el $\Delta\sigma_h$ y las direcciones de $\Delta\sigma_1$ y $\Delta\sigma_2$. Para σ_v , σ_1 y σ_3 (ábacos Figuras 10.14 y 10.17)



Solución: Se dibuja el círculo de Mohr con los $\Delta\sigma$, y con una horizontal por $\Delta\sigma_x$ localizo el polo P.

a) Ábacos: $\frac{Z}{r} = 1$ y $\frac{X}{r} = 1$: (ábacos III de LAMBE Figura 10.17)

$$\frac{\Delta\sigma_1}{q} = 0,44; \quad \frac{\Delta\sigma_3}{q} = 0,04; \quad \frac{\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3}{q} = 0,40 \quad (\text{borde del tanque y } Z = r)$$

$$\Delta\sigma_1 = 0,44q = 0,44(25) = 11 \text{ TT/m}^2 \quad \text{incremento en } \sigma_1$$

$$\Delta\sigma_2 = 0,04q = 0,04(25) = 1 \text{ TT/m}^2 \quad \text{incremento en } \sigma_2$$

b) Ábaco Foster – Ahlvin (donde R es X)

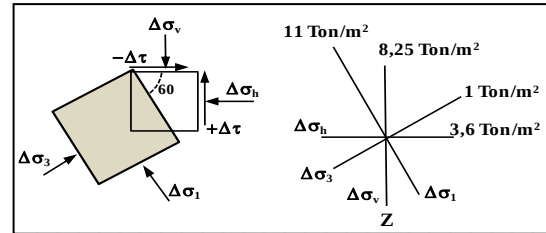
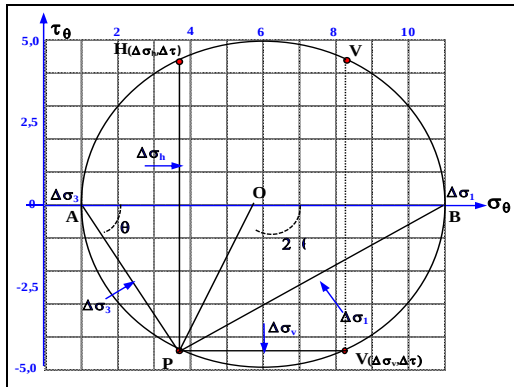
$$\frac{Z}{r} = 1; \quad \frac{X}{r} = 1 \Rightarrow I_0 = 0,33 \quad (\text{para borde del tanque y } Z = r)$$

$$\Delta\sigma_v = q I_0 = 25(0,33) = 8,25 \text{ TT/m}^2 \quad \text{incremento en } \sigma_v$$

Como $\Delta\sigma_2 < \Delta\sigma < \Delta\sigma_1$ existe cortante τ sobre el plano horizontal.

c) Construcción del círculo de Mohr:

$$R = \frac{11 - 1}{2} = 5; \quad O = \frac{11 + 1}{2} = 6$$



Con $\Delta\sigma_t = \Delta\sigma_v = 8,25$ obtengo VV'

Por la simetría del círculo, existen dos puntos con diferente τ . Escojo V con $\tau < 0$.

Con $VP \parallel$ horizonte, obtengo P (polo).

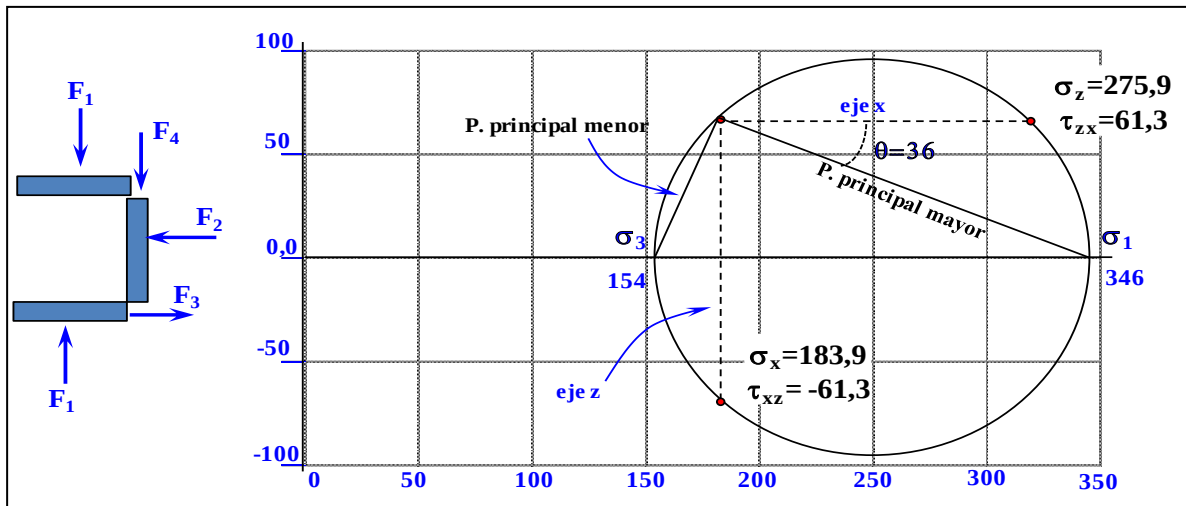
Con $PH \perp$ al horizonte obtengo H. Se lee $\Delta\sigma_h = 3,6$; $\Delta\tau = 4,5$

Uniendo P con A y B obtengo los planos principales. El ángulo θ , de V_i con X:

σ_i actúa sobre el plano BP. Luego $\theta = \text{ángulo BAP} = \arctg\left[\frac{4,5}{(3,6-1,0)}\right] = -60^\circ$

Ejercicio 11.5. Con la figura, las cargas normales aplicadas en las caras de un cubo de suelo son $F_1 = 45 \text{ Kg}$ y $F_2 = 30 \text{ Kg}$; las cargas cortantes son $F_3 = F_4 = 10 \text{ Kg}$. La arista de suelo es de 40 mm. Construya el círculo de Mohr de los esfuerzos totales y obtenga los planos y esfuerzos.

8)



9)

10) Solución

Se definen los ejes X y Z de la figura y se tienen como base la dirección de F_1 , F_2 , F_3 , F_4 .

Luego se calculan $\sigma_x = F_2 g / A = 183,9 \text{ KN/m}^2$; $\sigma_z = F_1 g / A = 275,9 \text{ KN/m}^2$ y el cortante

$\tau_{xz} = \tau_{zx} = F_3 g / A = 611,3 \text{ KN/m}^2$. $\tau_{xz} < 0$ por el sentido negativo y $\tau_{zx} > 0$ por el sentido retrógrado.

El polo P se localiza desde $(\sigma_z; \tau_{zx})$ y el plano principal mayor genera $\theta = 26^\circ$ con X.

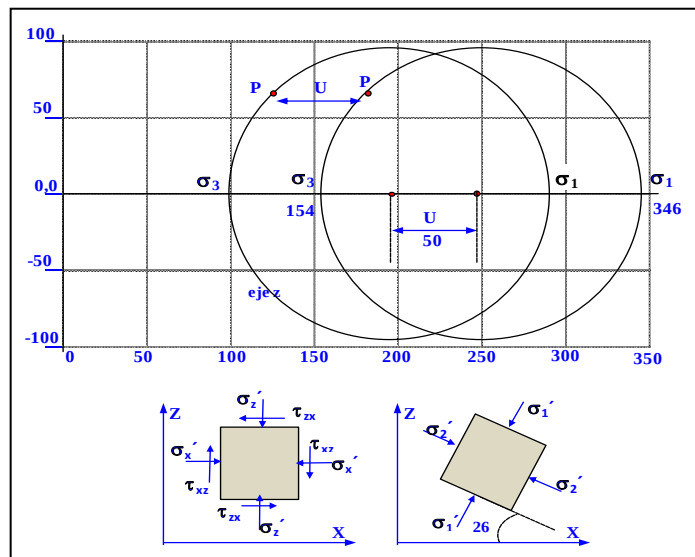
Ejercicio 10.6 Partiendo de los esfuerzos totales del cubo del ejercicio anterior, y conociendo que la presión de poros es $U = 50 \text{ KN/m}^2$, construya el círculo de Mohr de los esfuerzos efectivos. Dibuje el polo en el nuevo círculo, de esfuerzos efectivos, y dibuje los cubos sobre cuales caen los esfuerzos efectivos normales y cortantes.

Solución: El agua no asume resistencia al corte. $\tau_{xz} = \tau_{zx} = 61,3 \text{ KN/m}^2$.

Además, $OO' = U = 50 \text{ KN/m}^2$.

P' se desplaza hacia atrás 50 KN/m^2 .

$\sigma'_x = \sigma_x - U = 183,9 - 50 = 133,9 \text{ KN/m}^2$



$$\sigma'_z = \sigma_z - U = 275,9 - 50 = 225,9 \text{ KN/m}^2$$

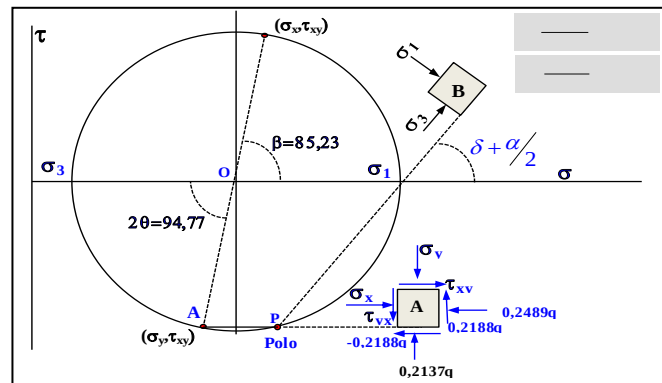
$$\sigma'_1 = \sigma_1 - U = 306 - 50 = 256 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - U = 154 - 50 = 104 \text{ KN/m}^2$$

Nota: Se obvia el cálculo con fórmula

Ejercicio 10.7. Para la figura, la ecuación de esfuerzos principales está dada por $\sigma_1 = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin \alpha)$ $\sigma_3 = \frac{q}{\pi}(\alpha - \sin \alpha)$ y la dirección de σ_1 bisecta el ángulo α . Calcule σ_x (horizontal), el σ_y (vertical) y τ_{xy} en el punto A ($x = 0,75B$; $y = B/2$)

(ver expresiones 10.11, para fajas con carga uniforme q)



$$\alpha + \delta = \arctg \frac{X + \frac{B}{2}}{Y} = \arctg 2,5 = 68^\circ,20$$

$$\delta = \arctg \frac{X - \frac{B}{2}}{Y} = \arctg 0,5 = 26^\circ,57$$

$$\alpha = 68^\circ,20 - 26^\circ,57 = 41^\circ,63$$

$$\delta + \frac{\alpha}{2} = 26^\circ,57 + \frac{41^\circ,63}{2} = 47^\circ,38 = \theta$$

$$\sigma_1 = \frac{q}{\pi}(0,7267 + \sin 41^\circ,63) = 0,4428q$$

$$\sigma_3 = \frac{q}{\pi}(0,7267 - \sin 41^\circ,63) = 0,0198q$$

Con σ_1 y σ_3 se dibuja el círculo, con centro en $O = 0,2313q$ y radio $R = 0,2115q$.

Como la dirección de σ_1 bisecta el ángulo α , entonces

$$A = \delta + \frac{\alpha}{2} = 47^\circ,38.$$

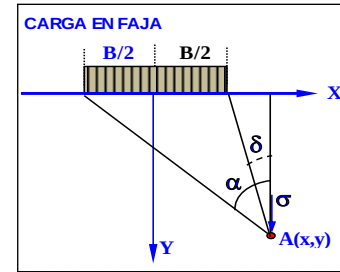
Con θ , gráficamente obtengo el polo P. Por P trazo PA horizontal y obtengo el plano sobre el cual actúa el esfuerzo vertical pedido; este es A(σ_y ; $-\tau_{xy}$).

Para calcular A, calculo $\beta \Rightarrow \beta = 180^\circ - 2\theta = 180^\circ - 94^\circ,77 = 85^\circ,23$

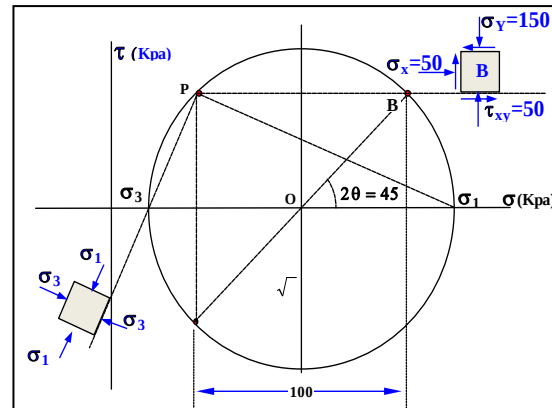
$$\sigma_y = \frac{\sigma_1 + \sigma_y}{2} - R \cos \beta = 0,2313q - 0,0176q = 0,2137q$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma_1 + \sigma_y}{2} + R \cos \beta = 0,2313q + 0,0176q = 0,2489q$$

$$\tau_{xy} = R^2 \sin \beta = 0,2115q * \sin 85^\circ 23 = 0,2108q$$



Ejercicio 10.8. Dado el plano B con los esfuerzos σ_x , σ_y , τ_{xy} en KPa (150, 50 y 50); calcular θ , el polo, σ_1 , σ_2 y su orientación.



$$\theta = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{-2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \right) = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{-2*50}{50-150} \right) = 22^\circ,5 \quad \text{Fórmula 11.12}$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + R = 100 + 70,7 = 170,7 \text{ KPa}$$

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - R = 100 - 70,7 = 29,3 \text{ KPa}$$

CÍRCULO DE MOHR PARA VARIOS ESTADOS DE ESFUERZOS REPRESENTATIVOS.

Los suelos soportan, por lo general, esfuerzos de compresión; sin embargo, los suelos cohesivos pueden presentar alguna resistencia a la tracción. La figura 11.6 presenta una serie de círculos de Mohr que representan varios estados de esfuerzos.

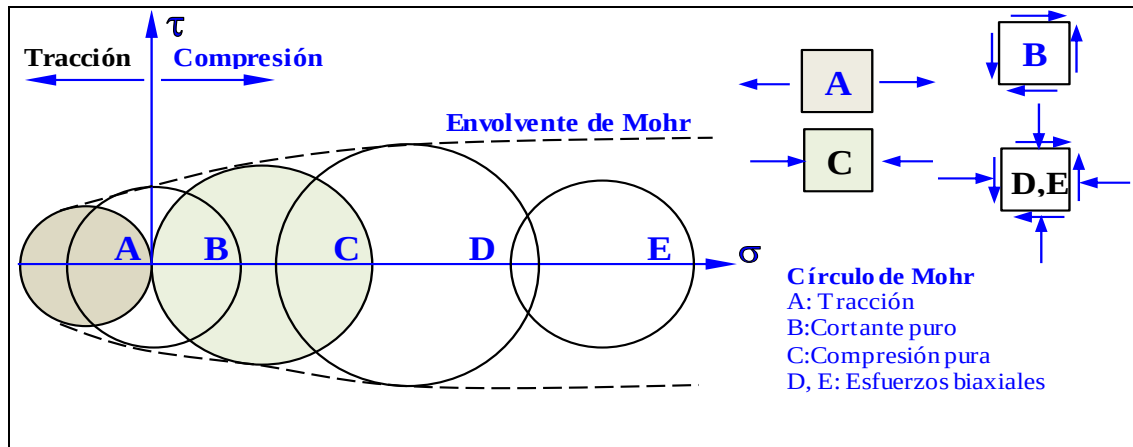
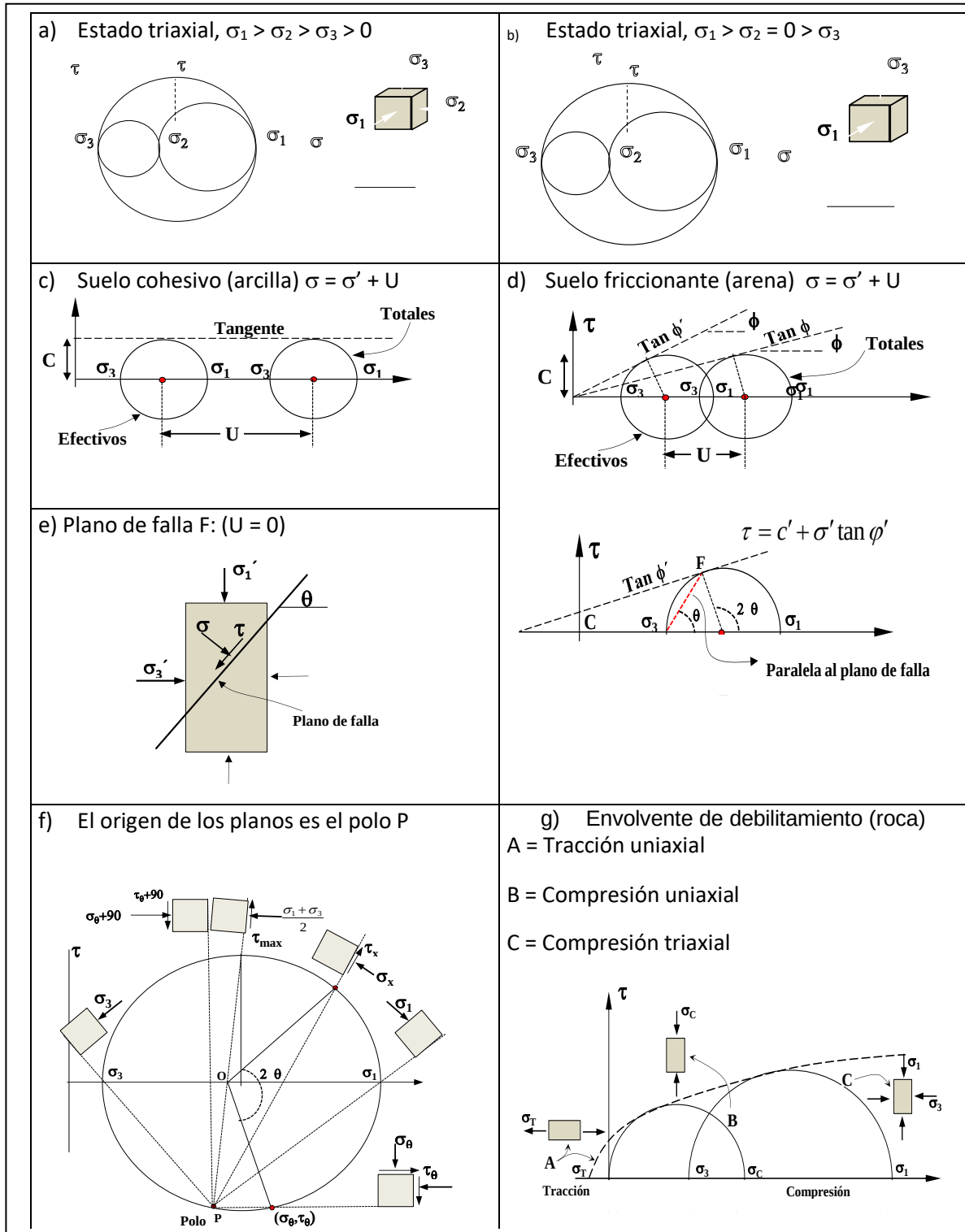


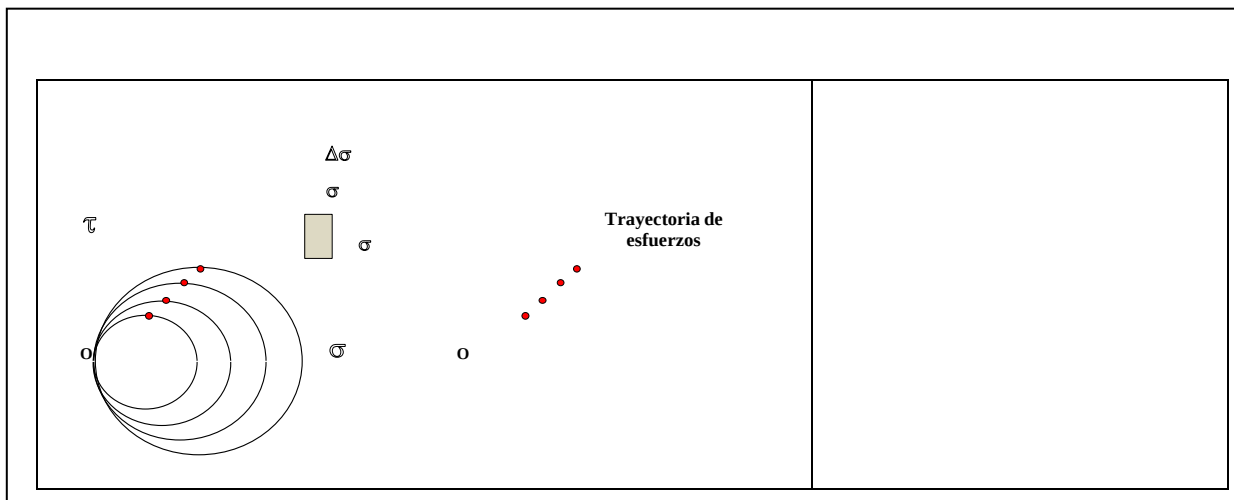
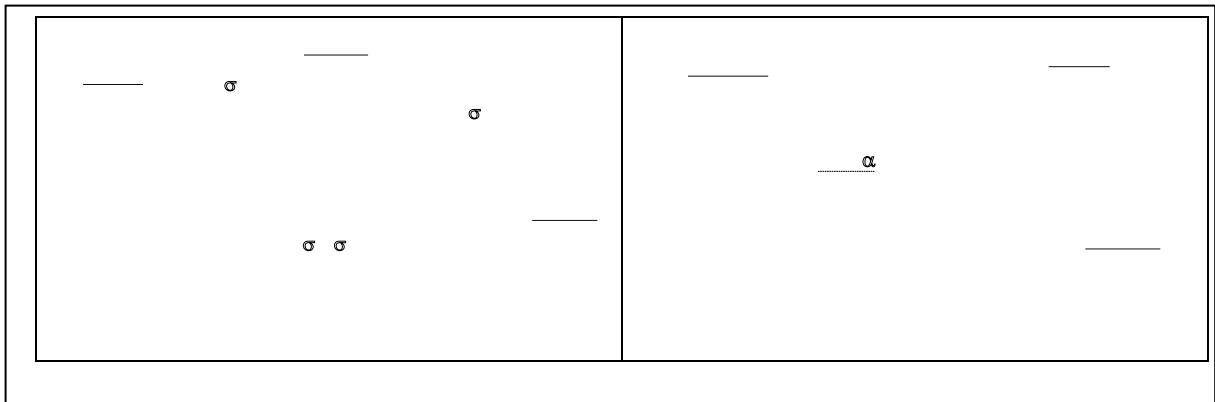
Figura 11.6 Estados de esfuerzos soportados por materiales.



10.4 DIAGRAMA p – q:

Para dibujar una trayectoria de esfuerzos, de un ensayo, no es fácil obtener una sucesión de círculos de Mohr, por lo que la literatura moderna utiliza los diagramas $p - q$, donde cada círculo tiene un punto de coordenadas (p, q) , cuya sucesión da la TRAYECTORIA DE ESFUERZOS.

Si $p = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$ y $q = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \tau_{\text{máx}}$ puedo dibujar las siguientes trayectorias:



LECTURA 11: ECONOMÍA COLOMBIANA: CRISIS Y RETOS



Portada: Los pronósticos de desempleo, pobreza y crecimiento para Colombia. Revista Semana, en: <https://www.semana.com>

**

La nueva economía

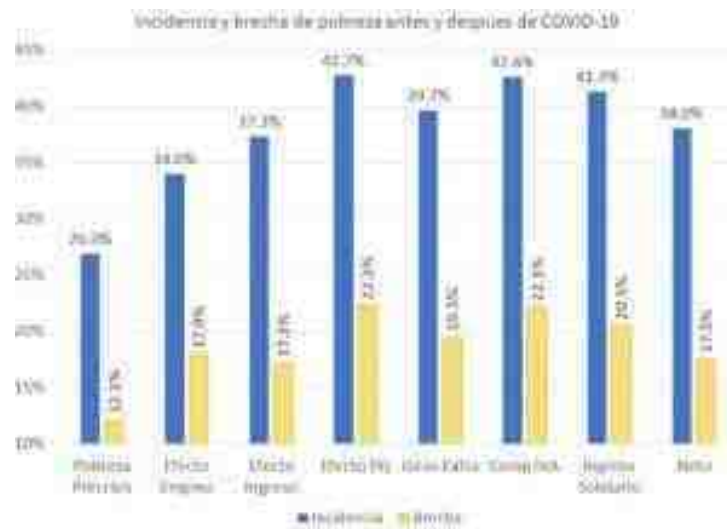


Imagen1: Según Fedesarrollo, la pobreza promedio en Colombia para 2020 aumentará desde el 26,9% hasta el 38%. La pobreza extrema también aumentará desde el 7,4% hasta 11,3%. www.dinero.com

En medio del lento crecimiento, la progresiva desigualdad y la emergencia ambiental como factores que afectan la economía y la sociedad, Colombia puede emprender una recuperación transformadora, con igualdad y sostenibilidad, basada en una combinación de políticas integrales que generen impactos cuantitativos sobre el crecimiento, la distribución del ingreso y el sector externo, sin recurrir a medidas inflacionarias, siempre y cuando se fortalezca el papel del Estado, y se construyan consensos incluyentes para apoyar con estrategias macroeconómicas, sectores estratégicos con responsabilidad social y ambiental, y particularmente con un viraje hacia la economía del conocimiento.

EE.UU. y La India será la tercera economía del mundo; a su vez, en América Latina, Brasil que superará de forma significativa el PIB de los países de la región, será seguida por México y luego aparecerán en su orden, Argentina, Venezuela, Colombia, Chile y Perú. Pero frente a ese panorama ahora agravado por la pandemia, dado que no tenemos los mismos recursos económicos para enfrentar sus consecuencias, sabiendo que la longevidad aumentará dos años en promedio debido a la genómica, y que la robótica sustituirá empleos, aunque el número de países pobres seguirá disminuyendo, frente a los desafíos de la década entrante la pregunta es: ¿qué hacer para que los gobiernos puedan garantizar asistencia y prestaciones sociales suficientes, ante situaciones de necesidad, especialmente en caso de paro laboral?

**

A democratizar la democracia



Imagen3: Pese a la recuperación en el PIB después de 25 del regreso de la democracia tras cruentas dictaduras, aún en América Latina el 53% de la población económicamente activa, no tiene protección laboral, ni de salud, ni pensión: en especial las mujeres, los jóvenes, los migrantes y los grupos indígenas y afros. Fuente Cepal.

En América Latina, tras el desplome de la economía global en la última década, los correspondientes ajustes a la crisis financiera en la región, con su poca capacidad financiera para afrontar problemas de devaluación e iliquidez, la creciente inconformidad social alimentada por la desigualdad que aún persiste y la desesperanza, se han traducido en una crisis que expresa las falencias del modelo neoliberal. Ahora, bajo el presupuesto de que la concentración del poder económico y del político no son dos asuntos diferentes, dado que la dimensión económica como infraestructura de la sociedad condiciona la política y por lo tanto la superestructura del establecimiento, la actual crisis alimentada por la desesperanza, agravada por el atractivo de los mayores beneficios de una actividad ilegal amparada en el crimen organizado y el tráfico de drogas, no es otra cosa que un enfrentamiento entre ciudadanos y élites: habrá que resolver a tiempo un juego peligroso que puede conducir al abismo.

Se trata entonces de la dicotomía entre la justicia social o la convulsión ciudadana, puesto que los países sacudidos por crisis políticas y protestas violentas frente a medidas como las sugeridas por el FMI que sólo han sido un detonante, requieren fortalecer la democracia, combatir la corrupción y las extremas desigualdades sociales, recurriendo a políticas sociales innovadoras, y reducir la dependencia de las materias primas mediante la diversificación e incremento de la productividad. Esto además de permitir que nuestros jóvenes y campesinos, encuentren opciones diferentes a la rentabilidad de las actividades criminales en la ciudad y en el campo, es un asunto que no se resuelve luchando contra la pobreza, sino con equidad en la distribución de la tierra y en las oportunidades, dos estrategias que suponen más Estado para la nueva sociedad latinoamericana.

**

Un pacto y un plan



Imagen4: Según el Dane, en junio de 2020, perdieron su ocupación 4,2 millones de personas en comparación con el mismo periodo de 2019, por lo que la tasa de desempleo llegó a 19,8%, cuantía por debajo del récord de 21,4% de mayo 2020. www.larepublica.co

Colombia que en el presupuesto general de la nación para el 2021, proyecta \$238,1 billones para inversión y funcionamiento, lo que supone un incremento del 13,5%, y \$76 billones adicionales para el servicio de la deuda, según el Ministerio de Hacienda -con lo cual esta cuantía crece un 41% respecto al año anterior-, muestra que la apuesta para la recuperación económica y el empleo, es la inversión cuya cuantía asciende a \$53,1 billones, ya que en gastos de funcionamiento se comprometerán \$185 billones. Como referente, si en 2020 el PIB llegaría a \$815 billones con una contracción del 5% según el Banco de la República, para el 2021 subiría 4%; esto según Fedesarrollo, quien subraya el impacto de las medidas de aislamiento, sobre el ritmo a la actividad y el consumo de los hogares.

Debido a la pandemia contrayendo la inflación en 2020 a valores que llegarán al 1.8%, entre otros el desempleo que subirá a tasas del 12,3% en hombres y del 20,7% en mujeres, además de expresar inequidad de género, resultará difícil de revertir la situación a un solo dígito. Como referente, la informalidad con niveles del 60% en Colombia, agravada por una migración de 1,7 millones de venezolanos, donde de cada 10 migrantes 6 no se registran, es una situación de enorme gravedad que, no siendo posible resolverse por la vía de las reformas tributarias, según expertos como el exministro Jorge Valencia Jaramillo, reclama una reforma que modifique la estructura pensional quitando privilegios, y extienda la edad de jubilación.

**

La ruralidad

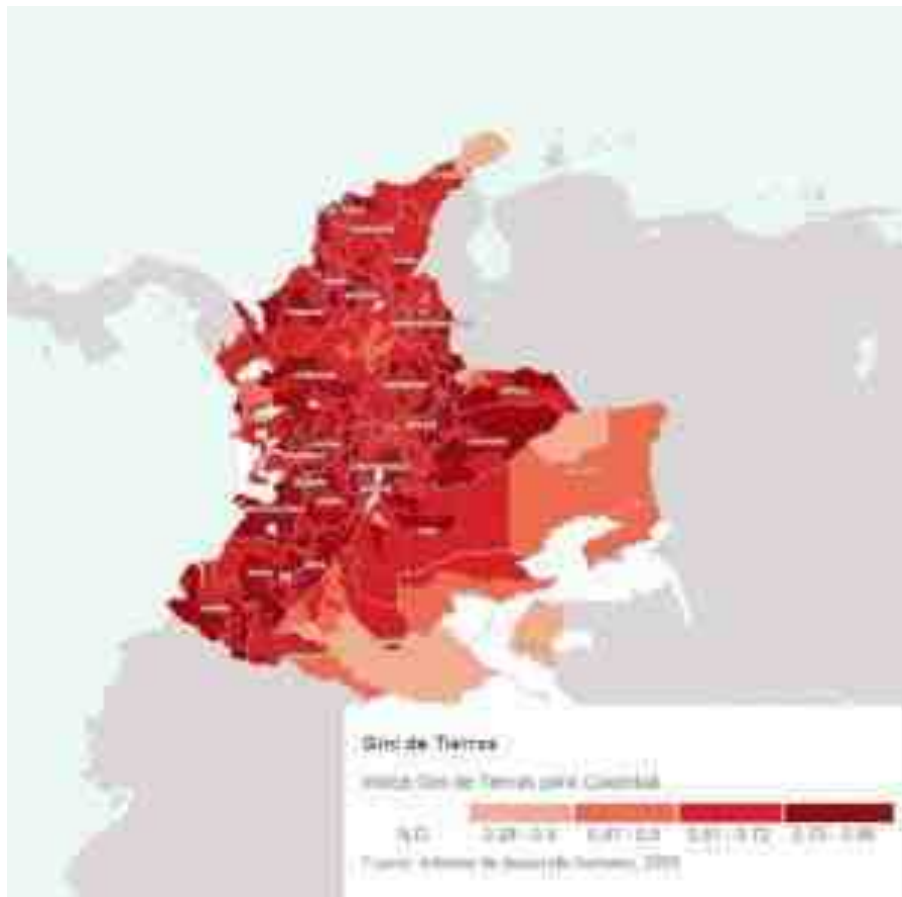


Imagen5. La estructura de la propiedad de la tierra en Colombia, donde Caldas muestra valores altos, está caracterizada por un Gini promedio del 0,88, según Informe de Desarrollo Humano 2009.

Sabemos que las causas estructurales del desempleo son de carácter global y parten del cambio en la estructura del empleo, consecuencia de una nueva sociedad en la que el avance tecnológico ha creado nuevas circunstancias, para las cuales Colombia no está preparada.

Siendo así, para la sostenibilidad del empleo se deberán implementar políticas de largo aliento, tales como elevar los niveles de escolaridad en el medio rural y urbano, y de la calidad de una educación pública cuyos recursos son precarios y el modelo obliga a cambios profundos, puesto

que el empleo ahora depende cada vez más de unas competencias sociales e intelectuales, que en promedio los jóvenes no han desarrollado, máxime ahora cuando muchos oficios vienen desapareciendo, y el avance del conocimiento obliga a procesos de reaprendizaje, conforme las empresas se están haciendo más competitivas al estar obligadas a entrar al mundo de la automatización y de la robótica.

Ahora, además de priorizar la formación del capital social sobre el crecimiento económico, conforme va palideciendo la sociedad industrial de ayer y el conocimiento asume el protagonismo entre los factores de producción, Colombia deberá desarrollar políticas de Ciencia, Tecnología y Cultura como estrategias para cerrar la brecha de productividad, en las que se diferencien la producción rural y artesanal, de la industria y agroindustrial donde la metodología de los clúster es clave, y ajustar las actuales políticas rurales, agrarias, mineras, e industriales, dada la vulnerabilidad de los primeros a los efectos de los TLC.

**

El medio ambiente

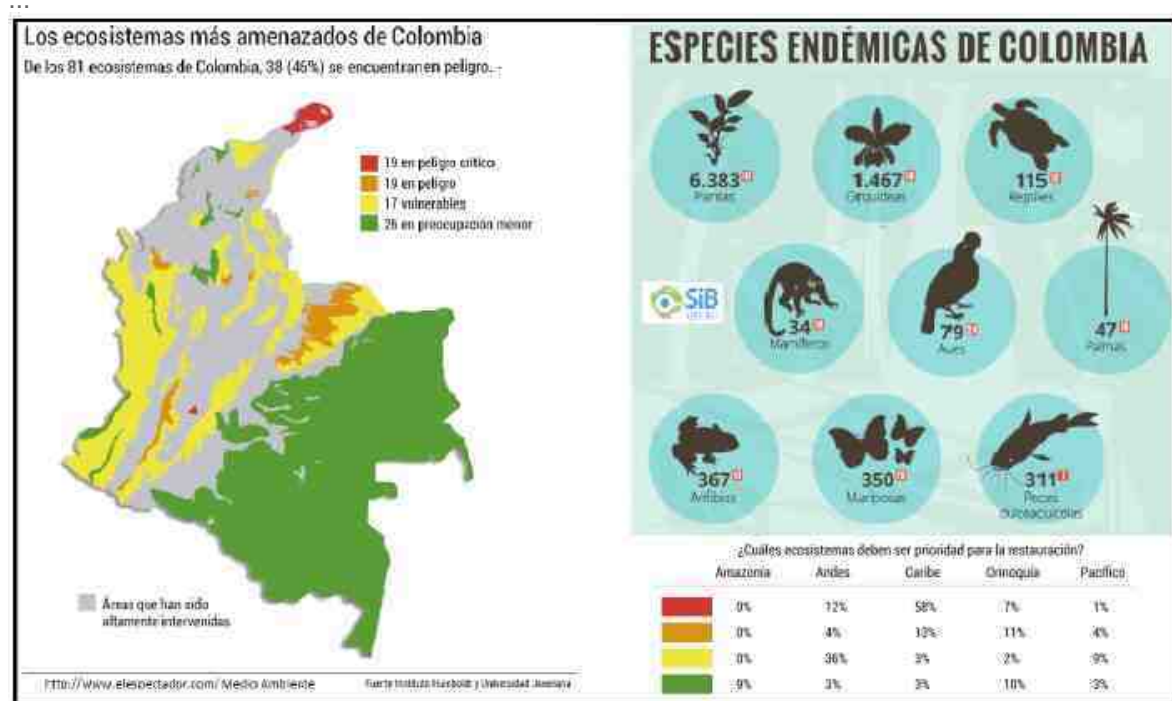


Imagen6: En Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo, el 46 % de los ecosistemas están en riesgo. Imagen: especies endémicas, SiB; y ecosistemas amenazados, IAvH y U. Javeriana.

La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental asociado a la demanda humana presionando los ecosistemas del planeta, relacionándola con la capacidad ecológica de la Tierra, de regenerar tales recursos y absorber nuestros desechos. Si se tiene en cuenta que para mediados del siglo la población mundial que hoy alcanza los 7 mil 300 millones llegará a los 10 mil millones de habitantes, ya no podemos continuar hablando de abundancia, de un lado porque si con la inequidad incremental llevando a la pobreza a 821 millones de personas que en 2019 estaban en situación de inseguridad alimentaria, la cuantía con o sin pandemia tiende a intensificarse, y

también -sobre todo-, porque con la cultura del despilfarro que caracteriza al capitalismo salvaje, al año 2020 se ha superado la biocapacidad del planeta en un 75%.

Si bien la firma del histórico acuerdo de la Habana no es la Paz, si es una oportunidad para crear condiciones propicias que permitan emprender los complejos procesos con que ésta se construye, a partir de una aceptación colectiva y de un cambio de actitud personal, como condiciones necesarias de soporte para las reformas estructurales, urgentes pero de largo plazo, que resolverán las disfunciones socioambientales que se han venido acumulando por más de medio siglo, como consecuencia de un Estado débil y de un modelo económico que al cooptarlo con la reforma a la Carta de hace 25 años, ha acentuado la inequidad, facilitado la corrupción y favorecido la violencia que explica cerca de $\frac{3}{4}$ de millón de víctimas mortales y más de cinco millones de desplazados, causados por el conflicto armado.

**

El largo plazo

...



Imagen7: Según el DANE, aunque las ventas externas de Colombia crecieron en mayo 1,2% jalonadas por los combustibles con una participación del 5,2%, en lo corrido cayeron 0,01%. Lo anterior, dado que en exportaciones la economía extractiva representa cerca del 60%.

Pero el problema de la economía a más largo plazo, pasa por cuatro escenarios: 1- una deuda externa que ya ha llegado a límites impensables, al ubicarse en U\$150 mil millones tras un crecimiento del 53,7% (30% pública y 23,7% privada); 2- una caída de la inversión extranjera que en los dos últimos lustros al pasar de una media de U\$10 mil millones a tan sólo U\$6 mil 300 millones, se ha reducido más del 34%; 3- el costo de la pandemia que ya supera los \$33 billones, gravitando sobre el recaudo de una gran reforma tributaria, aún por implementar; y 4- un horizonte poco esperanzador de la locomotora del petróleo, que con el carbón en una proporción que supera 2 a 1, responde por el 47% de nuestras exportaciones.

Como conclusión, si bien hemos hecho anotaciones al corto plazo, para una verdadera reconstrucción post-pandemia, habrá que reconsiderar la función redistributiva del Estado para poder cambiar el perfil de nuestra economía, caracterizada como proveedora de materias primas y mano de obra barata, favoreciendo la funcionalidad del capitalismo global, haciendo de esta crisis sin precedentes en Colombia y en el mundo subdesarrollado una oportunidad, para cambiar de dirección implementando, además de cambios profundos en el modelo educativo, un modelo de

desarrollo apalancado en políticas públicas que favorezcan un cambio de primer orden, con transformaciones sociales y ecológicas.

**

Gracias



Contraportada: Buenaventura (Colombia), en: <https://semana/sostenibilidad.com>

Documento para el Contexto en CTS de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. <http://godues.webs.com> Manizales. Noviembre 16 de 2020.

ANEXOS

Anexo 1: Fisiografía y Geodinámica de los Andes de Colombia.	Anexo 14: Pacífico biogeográfico y geoestratégico
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 15: Navegando el Río Grande de la Magdalena
Anexo 3: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia	Anexo 16: El Río Cauca en el desarrollo de la región
Anexo 4: Riesgo sísmico: los terremotos	Anexo 17: Plusvalía urbana para viabilizar el POT
Anexo 5: Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima	Anexo 18: Introducción a la teoría económica
Anexo 6: El desastre de Armero por la erupción del Ruiz	Anexo 19: Preservación Ambiental e Hídrica y PCC de Colombia.
Anexo 7: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial	Anexo 20: Colombia tropical, ¿y el agua qué?
Anexo 8: Manual de geología para ingenieros	Anexo 21: Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio
Anexo 9: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 22: El territorio caldense: ¿un constructo cultural?
Anexo 10: Túnel Manizales	Anexo 23: Colombia intermodal: hidrovías y trenes
Anexo 11: Guía astronómica	Anexo 24: UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga.
Anexo 12: La Luna	
Anexo 13: Astrofísica y Estrellas	

CAPÍTULO 12

COMPACTACIÓN DE SUELOS

12.1 DEFINICIÓN

Es la densificación del suelo por medios mecánicos. El objetivo, mejorar la resistencia y estabilidad volumétrica, afectando la permeabilidad, como consecuencia del proceso de densificación de la masa.

12.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS. Concepto más amplio y general que el de COMPACTACIÓN, pues incluye cualquier procedimiento útil para mejorar las propiedades ingenieriles del suelo, como estructura.

La estabilización comprende:

- a) Compactación
- b) Mezcla granulométrica
- c) Adición de compuestos especiales (antes de mezcla y/o compactación)

Los estabilizantes son de tres tipos:

- a) Cemento
- b) Material bituminoso (asfalto, por ejemplo)
- c) Productos químicos (óxidos e hidróxidos de Ca, cloruro de Ca y Na, cloruro férrico, silicato Na y resinas)

12.3 MEDIDA DE LA COMPACIDAD DEL SUELO.

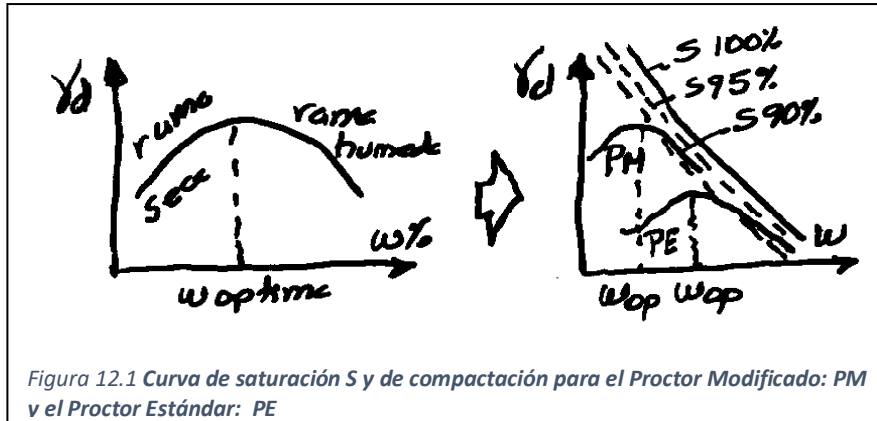
Se califica la compacidad por la comparación cuantitativa de las densidades secas o pesos unitarios secos, γ_d , que el suelo va adquiriendo gradualmente, al variar la humedad, la energía o el método de compactación.

12.4 MÉTODO PROCTOR.

Consiste en compactar el material dentro de un molde metálico y cilíndrico, en varias capas y por la caída de un pistón. Existen dos variaciones del MÉTODO PROCTOR.

- a) Proctor estandar o normal, con pistón de 5 ½ lbs, $h = 12''$, $N = 25$ golpes y 3 capas a compactar. El molde de $\phi = 4''$ y volumen $1/30 \text{ ft}^3$.
- b) Proctor modificado, con pistón de 10 lbs, $h = 18''$, $N = 25$ golpes, y compactando en 5 capas, con el mismo molde.

14.4.1 Curva de humedad – densidad o de COMPACTACIÓN. Esta curva da la variación, γ_d Vs ω , que se obtiene en laboratorio. La densidad seca (y también el γ_d) va variando al modificar la humedad, ω , de compactación.



La humedad óptima es la que se corresponde con el máximo de la curva de densidad. La rama seca es la que se corresponde al suelo bajo de humedad, donde la fricción y cohesión dificultan su densificación. La rama húmeda, es asintótica a la línea de

saturación, que se desplaza hacia la derecha de la humedad óptima de compactación, dado que la energía de compactación de un suelo muy húmedo la absorbe el agua y no el esqueleto mineral.

La curva de saturación, o de contenido de aire nulo, es dibujada como auxiliar para el análisis, es teórica y no depende de los resultados del ensayo. La ecuación es:

$$\gamma_d = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + \frac{\omega * G_s}{S}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} G_s = \text{Gravedad específica} \\ \gamma_w = \text{Peso unitario del agua} \\ \omega = \text{Humedad del suelo} \\ S = \text{Grado de saturación} \end{array} \right.$$

Para $S = 1$ y $\gamma_w = 1$, se tiene $\gamma_d = \frac{G_s}{1 + \omega * G_s}$. Esto facilita el dibujo rápido de la curva $S = 100\%$.

La curva S de los valores de γ_d que debe tener el suelo saturado para cada valor de ω .

En la compactación, sale aire, y no agua. Como es imposible sacarlo todo, la curva de compactación no podrá llegar a confundir su rama húmeda con la curva $S = 100\%$. Esta propiedad nos permite tener en evidencia errores en la curva γ_d Vs ω .

Las otras curvas ($S = 80\%$, por ejemplo) dicen qué porcentaje de aire queda en el suelo (20%, por ejemplo).

12.4.2 Penetrómetro Proctor. Herramienta que se hinca a mano. Se trata de una aguja o varilla con un dispositivo para medir la fuerza requerida (en libras), para que la penetre (variable en tamaño y forma) profundice en el suelo 3" por lo general. La operación se hace en laboratorio y en campo, simultáneamente, para comparación de γ_d , o de la humedad si se quiere. (No debe existir grava en el suelo).

12.4.3 Energía de compactación. La calidad de la compactación depende de: Contenido de humedad, método de compactación y energía de compactación. (ver fig ω Vs $\gamma_d - \sigma$ y # de pasadas Vs γ_d)

En el ensayo proctor, la energía específica E_e , está dada por:

$$E_e = n * N * W * h / V$$

Siendo N = # de capas; n = # de golpes; W = peso del pistón; h = altura de caída del pistón; V = volumen del molde y muestra. La AASHTO (departamento de carreteras de USA), tiene dos normas: La T99 para el proctor estándar que exige $E_e = 6,03 \text{ Kg cm/cm}^3$ y la T180, para proctor

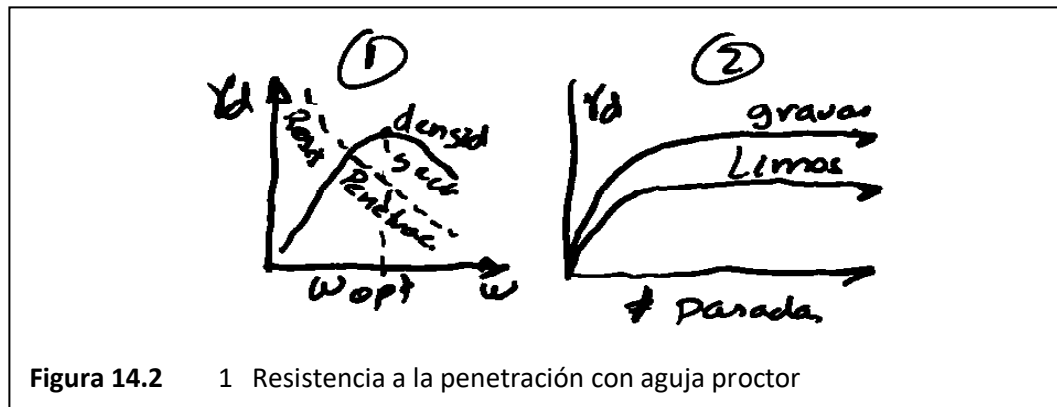


Figura 14.2 1 Resistencia a la penetración con aguja proctor

modificado, con $E_e = 27,4 \text{ Kg cm/cm}^3$. Ambas normas aplicables a materiales "Pasa tamiz #4".

12.3 VARIABLES DEL PROCESO.

Son 3: Suelo, método y energía:

- Suelo: Puede ser granular (friccionante) o fino (cohesivo)
- Método de compactación: En campo (rodillos); en laboratorio (varios).
- Energía: Energía específica, temperatura y humedad.

Los métodos de laboratorio son impacto, amasado y de carga estática. Ellos dan resultados diferentes y afectan las condiciones del suelo de manera distinta.

La compactación de campo se hace con rodillos lisos, neumáticos o con "pata de cabra". Los rodillos pueden ser vibratorios y los sistemas suelen hacerse mixtos. Se pueden usar ranas o canguros (vibrocompactadores), en áreas pequeñas.

En carga estática, la E_e es difícil de evaluar y está afectada por el tiempo de aplicación y la deformalidad del suelo.

En amasado, la E_e es más difícil y compleja de evaluar, pero se puede cuantificar variando el número y espesor de las capas, y la presión de apisonado y número de aplicaciones.

El contenido de agua ω del suelo se relaciona con la permeabilidad. En arcillas se dan tensiones capilares que favorecen la formación de grumos que dificultan la compactación. El resultado no es el mismo, en γ_d , aumentando agua que esperando a que el suelo la pierda; es decir, compactando por la rama húmeda o por la rama seca, pues el suelo tarda tiempo en admitir agua que se agrega, en el primer caso.

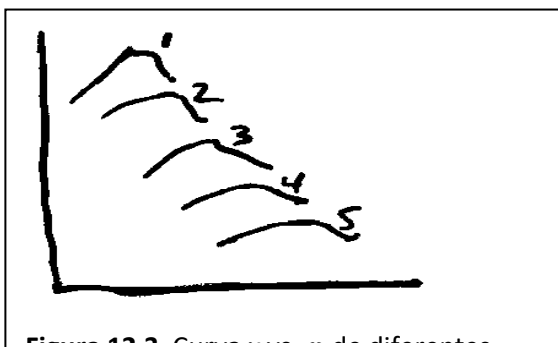
En suelos recompactados, el resultado es diferente al de los suelos vírgenes. Los pesos unitarios resultan mayores.

La temperatura genera evaporación o condensación, con lo que se afecta la humedad del suelo. Esto obliga a compactar iniciando con humedades diferentes a la óptima.

El equipo puede condicionar la humedad de trabajo, obligándose a una humedad diferente a la óptima.

• 12.6 MÉTODOS DE CAMPO

Amasado →	Rodillo pata de cabra	PC
Presión →	Rodillo neumático o liso, tractor	RN, RL, TR
Impacto →	Canguro y pisones	C, P
Vibración →	Rodillos y ranas	RV, R
Mixtos →	Presión y vibración	PV



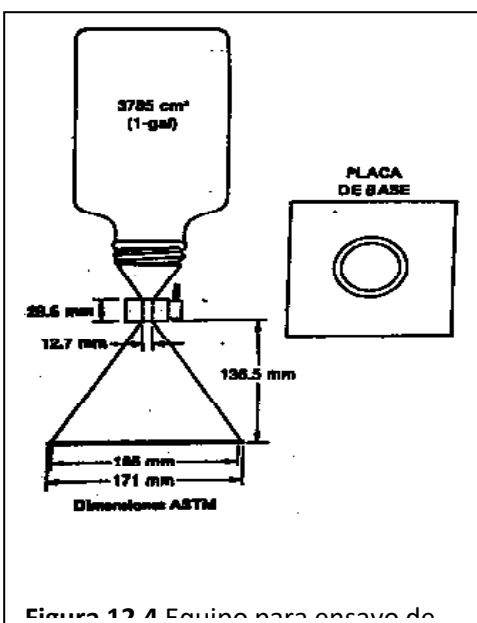
Comparación de diferentes suelos

1 =	Cascajo arenoso.	2,19	/	$\omega = 8\%$
2 =	Arena.	2,00	/	$\omega = 12\%$
3 =	Arcilla arenosa.	1,84	/	$\omega = 14\%$
4 =	Arcilla limosa.	1,65	/	$\omega = 15\%$

12.7 DENSIDAD DE CAMPO.

Se hace un hueco en el terreno, de forma cilíndrica; se pesa el suelo extraído en estado húmedo y seco, y el volumen, que es el del hueco, se mide llenándolo de arena curzosa (de Ottawa o Guamo, Tolima), que debe lavarse y gradarse periódicamente. En su defecto, con aceite grueso o con una vejiga de agua, siendo este último un método poco exacto.

Grado de compactación: Se mide de dos posibles maneras, con el porcentaje de compactación G_c , o con la relación de compactación C_r



$$G_c = \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_{dMAX}} \right] * 100 \quad C_r = \frac{\gamma_d - \gamma_{dMIN}}{\gamma_{dMAX} - \gamma_{dMIN}} * 100$$

$G_c = 90\%$ es el mínimo para pocas exigencias de resistencia e incompresibilidad.

$G_c = 95\%$ es el mínimo para terraplenes.

$G_c = 100\%$ es el mínimo para subrasante.

Relaciones de compacidad entre los suelos, según SUCS.

Suelo	Posibilidades	Equipo recomendable en campo	Valores típicos
GW	+++	TR, RN, RL, PV	1,9 – 2,1 $\frac{TT}{m^3}$
GP	++	TR, RN, RL, PV	1,8 – 2,0
GM	++	RN, PC	1,9 – 2,2
GC	+	RN, PC	1,8 – 2,1
SW	+++	TR, RN, PV	1,7 – 2,0
SP	++	TR, RN, PV	1,6 – 1,9
SM	++	RN, PC	1,7 – 2,0
SC	+	RN, PC	1,6 – 2,0
ML	-	RN, PC	1,5 – 1,9
CL	+	PC, RN	1,5 – 1,9
OL	---	PC, RN	1,3 – 1,6
MH	--	PC, RN	1,1 – 1,6
CH	--	PC	1,3 – 1,7
OH	---	PC	1,0 – 1,6
Pt	No utilizar		

ENLACES U.N.

<i>Aerocafé en tiempos de pandemia.</i> <i>Ciencias naturales y CTS.</i> <i>Ciencia y tecnología en la sociedad del conocimiento.</i> <i>Chinchiná Siglo XXI.</i> <i>Conectividad Regional y Ciudad Región del Eje Cafetero.</i> <i>Conocimiento y prosperidad en Colombia.</i> <i>Corredor Bimodal Cafetero.</i> <i>Del antropocentrismo al biocentrismo.</i> <i>Desarrollo y revoluciones tecnológicas.</i> <i>Educación con-ciencia para el desarrollo.</i>	<i>El aporte ético y técnico de la UN en Aerocafé.</i> <i>El inestable clima y la crisis del agua.</i> <i>El ocaso de la universidad pública.</i> <i>El porqué de los aguaceros en Colombia.</i> <i>Ferrocarril Interoceánico Verde para Colombia.</i> <i>Ferrocarriles: integración y progreso para Colombia.</i> <i>Introducción a la teoría económica.</i> <i>Ingeniería, incertidumbre y ética.</i> <i>La economía azul en la esfera de la producción.</i> <i>La dimensión cultural como catalizadora del desarrollo.</i>	<i>Manizales, ¿entrando a la era del conocimiento?</i> <i>Misión de Sabios de Caldas: Encuesta.</i> <i>Otra vez El Niño: ¿cómo adaptarnos?</i> <i>PCC 2011-2016: desafíos de un patrimonio sustentable.</i> <i>Plan de CT&I y TIC en Caldas.</i> <i>Reflexiones sobre tecnología y medio ambiente.</i> <i>Sinergia y pertinencia en las ciencias básicas.</i> <i>Un nuevo modelo educativo.</i> <i>Un país con grandes retos ambientales.</i> <i>Una Visión y Dos Enfoques de Manizales.</i>

LECTURA 12: EL CALENTAMIENTO GLOBAL ARRECIA... ¿Y LAS HELADAS QUÉ?



Explicación comprensible de por qué y dónde se producen las heladas – y de qué se puede hacer para atenuar o prevenir sus daños-.

Por: Gonzalo Duque Escobar*

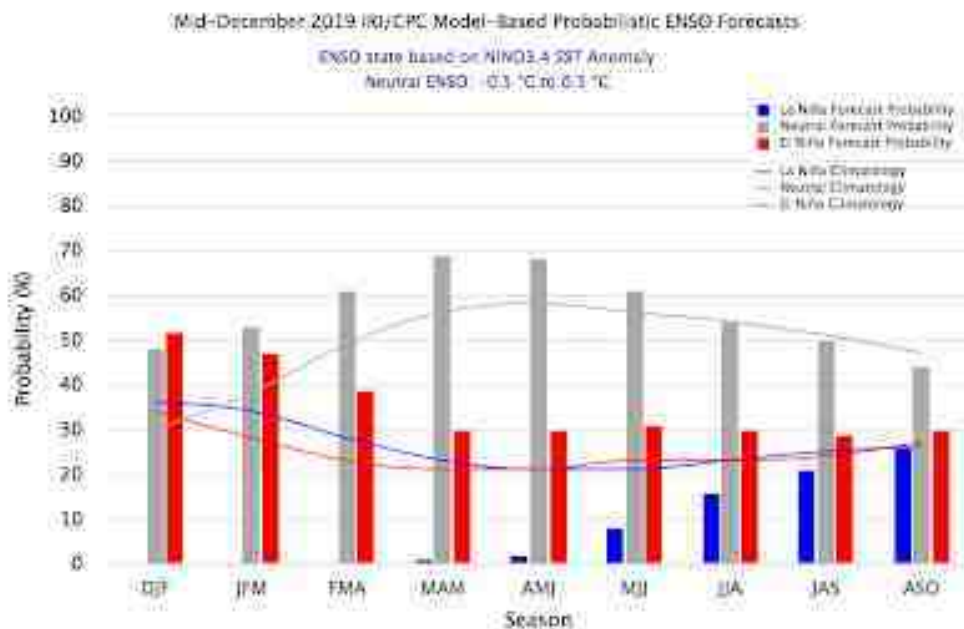
Los pronósticos

Los pronósticos de la Organización Meteorológica Mundial y organismos como el *International Research Institute for Climate and Society* (IRI) o el *Climate Prediction Center* (CPC) del gobierno de Estados Unidos siguen pronosticando “normalidad” – o “condiciones del “El Niño-Southern Oscillation” (ENSO) de carácter neutral durante el verano del hemisferio norte.

En Colombia sin embargo se han presentado sequías intensas y además fuertes heladas en ciertas partes del Altiplano Cundiboyacense – cuya extensión, 220 mil hectáreas, es igual a la del fértil valle del río Cauca-.

Aunque los modelos habían anticipado escenarios climáticos “neutrales” para este verano, hoy se estima que dichas condiciones podrían cambiar hacia un episodio de El Niño para finales del año en curso (Ver grafica siguiente).

Pronóstico ENSO de diciembre de 2019, mostrando las tendencias inciertas para la temporada de septiembre



Fuente: CPC-IRI.

El problema

Después del riesgo de inundaciones y deslizamientos en temporadas invernales - que coinciden con la fase húmeda del ENSO conocida como La Niña- Colombia enfrenta el riesgo de las sequías que se asocian con El Niño -un fenómeno atmosférico exacerbado por el cambio climático-.

De aquí a su vez tienden a resultar las heladas en los altiplanos andinos, que ocupan el 7% de la superficie agropecuaria colombiana y conllevarían pérdidas económicas para 1.758.000 habitantes expuestos (3,6% del total nacional), particularmente en actividades como la producción de leche en praderas, y los monocultivos a cielo abierto de cereales, hortalizas, frutas, flores, papa y otros perecederos.

Factores de las heladas

Una helada climática se produce cuando el termómetro marca menos de 0°C en los dos primeros metros sobre el terreno, así existan temperaturas ligeramente superiores en el subsuelo de labranza o en el entorno inmediato de las plantas.

Estas heladas pueden resultar de una corriente de aire frío, o pueden ser mayores si resultan de un estado de alta presión atmosférica con vientos en calma. También existen heladas de irradiación térmica, sobre todo en altiplanos, cuando

el terreno se enfría durante la noche porque el calor ha subido hacia la atmósfera sin presencia de nubes, lo cual intensifica las heladas en la madrugada.

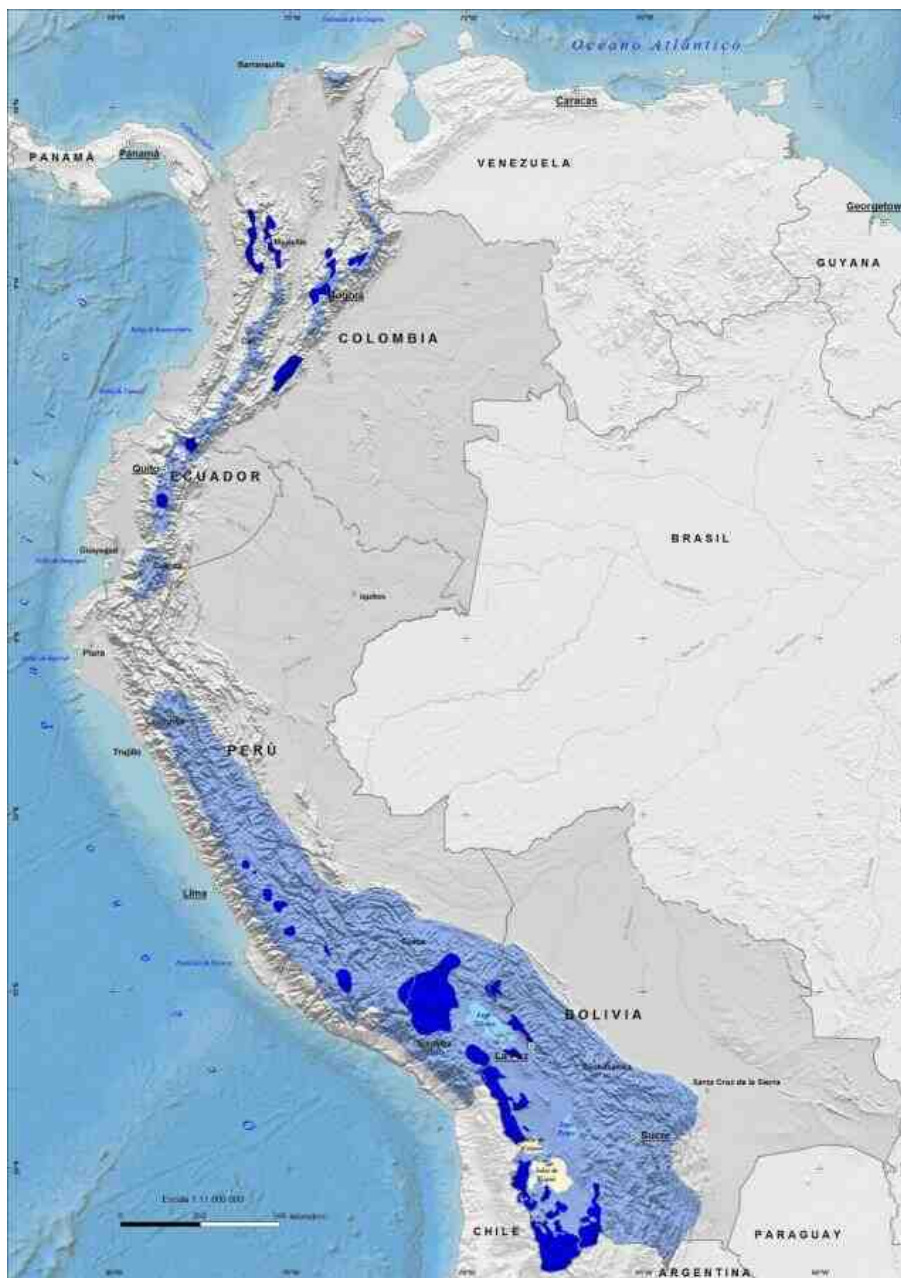
Ahora bien, para valorar el grado de exposición a las heladas hay que tener en cuenta:

- La altitud del territorio, ya que la temperatura disminuye 6°C por cada mil metros sobre el nivel del mar (msnm), de modo que el riesgo es Alto sobre los 3000 msnm, Moderado entre 2800 y 3000 msnm, y Bajo entre 2500 y 2800 msnm;
- La morfología del terreno, donde planicies y hondonadas presentan condiciones de exposición Alta, los terrenos ondulados nivel Moderado, y las llamadas "formas cóncavas" nivel Bajo;
- La compacidad del suelo, siendo Alto el nivel de susceptibilidad en suelos granulares sin finos, Medio en suelos granulares semicompactos o con pocos finos, y Bajo en suelos compactos y densos;
- La cobertura vegetal. Mientras que los pastos limpios y sabanas, al igual que los cultivos menos densos ofrecen un grado de exposición Alto, y los mosaicos de cultivos arbustivos con pasturas y matorrales ofrecen exposición Moderada, en las coberturas boscosas o arbóreas altas y densas, el grado es Bajo;
- Y finalmente, la cercanía a cuerpos de agua, donde la distancia a ríos y lagos mayor de 3 Km se califica con exposición Alta, entre 1 y 3 Km como Moderada, y menor de 1 Km como Baja.

Antecedentes en la región y en Colombia

Pero el fenómeno no es nuevo.

Según la Comunidad Andina, entre 1970 y 2007 se reportaron 639 casos de heladas en la región con diversos niveles de pérdidas en población, cultivos y ganadería, distribuidos así: 553 eventos corresponden a Perú -dada la mayor extensión territorial y población expuesta-, 35 a Bolivia, 40 a Colombia y 11 a Ecuador (Cuadro adjunto).



Mapa: Zonas Susceptibles a las Heladas. Fuente: <http://www.comunidadandina.org>

Comunidad Andina – Las heladas

Superficie agropecuaria expuesta –

Miles de Kilómetros cuadrados			
Parte I	Área total	Área expuesta	% Área
Bolivia	269	100	37
Colombia	533	37	7
Ecuador	115	25	21
Perú	256	193	75
Comunidad Andina	1 173	355	30
Población expuesta a heladas Miles de habitantes			
Parte II	Población total	Población expuesta	% Poblac.
Bolivia	9 427	2 922	31
Colombia	45 000	1 758	3,6
Ecuador	13 215	2 470	19
Perú	27 254	5 669	21
Comunidad Andina	94 896	12 819	14

Fuente: Cuando hiela. Comunidad Andina, en <http://www.comunidadandina.org/>

Las heladas en Colombia afectan áreas localizadas a más de 2500 msnm -como el Altiplano Cundiboyacense, la sabana de Túquerres-Ipiales y tierras frías de Antioquia y la Cordillera Central-, principalmente en los meses secos del año. Estas heladas han ocasionado pérdidas cuantiosas en cultivos de flores, maíz, papa y hortalizas, y para productores de leche.

Entre 1978 y 2007, los municipios más afectados según el número total de heladas fueron Sogamoso (200 heladas), Tenjo (270), Zipaquirá (240), Sopó (200),

Mosquera (100) y Sesquilé (100). En febrero de 2007 las heladas en Cundinamarca y Boyacá llegaron a registros por debajo de -8° Celsius y afectaron cerca de 160 mil hectáreas.

¿Qué hacer?

El pronóstico cuantitativo de las heladas puede hacerse con métodos estadísticos distintos, como decir los métodos de Katz, Murphy y Winkler (1982) y el método de Allen (1957). Este último estima la Temperatura mínima en función del punto de rocío y porcentaje de humedad relativa, medidos dos horas antes de la puesta de Sol.

El método anterior permitiría pronosticar la temperatura mínima para las noches de heladas con cielo despejado y viento en calma.

Es importante el pronóstico para poner en marcha los métodos activos de protección contra las heladas, entre ellos:

- Los riegos por aspersión cerrando el día para bajar las temperaturas en el predio;
- Los riegos por inundación para mantener el suelo húmedo y reducir considerablemente el riesgo;
- El calentamiento del aire y la plantación para mantener los tejidos vegetales por encima de la temperatura letal;
- La ventilación del predio para reducir el efecto de radiación al homogenizar la temperatura del aire;
- El aislamiento térmico de los cultivos, empelando materiales comunes en el mercado.

Hay por supuesto que evaluar el costo- beneficio de las opciones anteriores, pero además hay que pensar en las medidas preventivas, entre las cuales se destacan:

- Elección de especies y variedades cuya producción no coincida con el período de heladas;
- Emplazamiento del cultivo, evitando depresiones topográficas y ocupando zonas convexas del terreno por ser dispersoras de aire frío;
- Eliminar la floración precoz para que no coincida con la época de heladas, usando productos químicos o técnicas de enfriamiento como la aspersión de agua;

- Utilizar cercas de plantas para evitar los flujos de aire frío sobre el cultivo;
- Manejo adecuado en la fertilización y mínimo laboreo del suelo para disminuir la pérdida de energía; y
- Técnicas de cultivo como la compactación del terreno para sacar el aire contenido en la masa de suelo que favorece la helada.

ANEXOS

Manual de Geología para ingenieros  Gonzalo Duque-Escobar. Universidad Nacional de Colombia https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145	
Presentación • Contenido • Cap01 Ciclo geológico • Cap02 Materia y Energía • Cap03 El sistema Solar • Cap04 La Tierra sólida y fluida • Cap05 Los minerales • Cap06 Vulcanismo • Cap07 Rocas ígneas • Cap08 Intemperismo ó meteorización • Cap09 Rocas sedimentarias • Cap10 Tiempo geológico	Cap11 Geología estructural • Cap12 Macizo rocoso • Cap13 Rocas Metamórficas • Cap14 Montañas y teorías orogénicas • Cap15 Sismos • Cap16 Movimientos masales • Cap17 Aguas superficiales • Cap18 Aguas subterráneas • Cap19 Glaciares y desiertos • Cap20 Geomorfología • Lecturas complementarias • Bibliografía
Anexo 1: Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia. Anexo 2: Bosques, Cumbre del Clima y ENSO. Anexo 3: El cuidado de la casa común: agua y clima. Anexo 4: Gobernanza Forestal en la Ecorregión Andina. Anexo 5: ¿Qué hacer con la vía al Llano? Anexo 6: Río Blanco, cuna de vida...	

CAPÍTULO 13

AUSCULTACIÓN DE TALUDES (INSTRUMENTACIÓN)

13.1 INTRODUCCIÓN.

En la geotecnia, el desarrollo de un trabajo no puede agotarse en la fase de diseño, ya que sus resultados sólo tienen el carácter de hipótesis más o menos fiables. Es necesario controlar la obra mediante la ejecución de las labores siguientes:

- a- Predicción del comportamiento del talud (fase de diseño).
- b- Elección de magnitudes cuyo control resulte significativo para reflejar simplícidamente el comportamiento del talud
- c- Definición de instrumentos adecuados para medir las magnitudes elegidas en el punto b. Dichos instrumentos dependen del rango (valor máximo esperado), precisión requerida y frecuencia de lectura.
- d- Instalación de los instrumentos elegidos y lectura de los mismos.
- e- Comparación de los valores previos con los reales.

13.2 MAGNITUDES USUALMENTE SUJETAS A CONTROL

- Movimientos superficiales. Métodos topográficos.
- Movimientos en el interior del terreno. Equipos instalados en sondeos que permiten definir la profundidad de la zona afectada.
- Movimientos de apertura de grietas y movimientos entre bloques de macizos rocosos, apoyan la interpretación de los datos aportados por otros controles
- Presiones intersticiales control de sus variaciones (niveles freáticos y piezométricos).
- Fuerzas de anclaje.
- Modificación de presiones intersticiales provocadas por la instalación de subdrenajes.

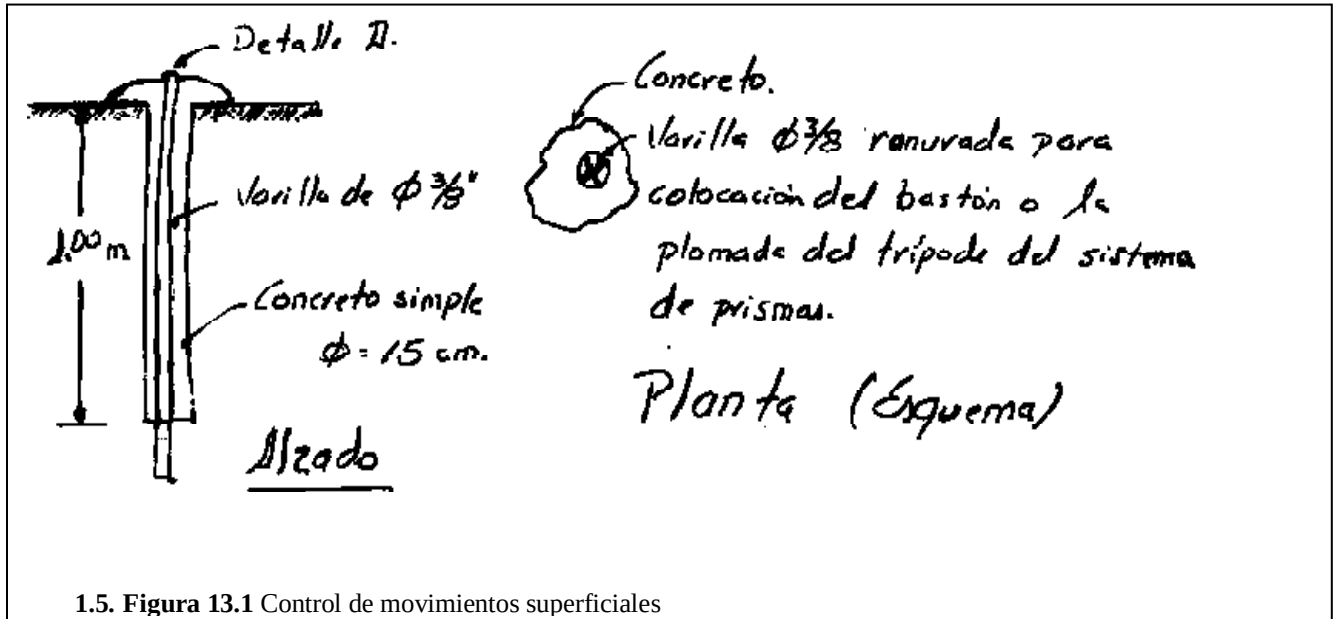
13.3 SISTEMAS DE MEDIDA

13.3.1 Control de movimientos superficiales

Se pueden utilizar los siguientes métodos

Métodos de control	f- Sistemas de medida	g- Observaciones
Geoclásicos Triangulación Trilateración Poligonación	Medida de ángulos Medida de ángulos y distancias	- Permite medir movimiento en 3 dimensiones - Precisión media - Lectura y toma de datos laboriosa. - Requiere personal especializado.
Nivelación	Medida de movimiento vertical respecto a una base fija.	- sólo permite controlar movimientos verticales - Alta precisión (1mm en 1Km) - Toma y tratamiento de datos rápida y sencilla.
Colimación	Medida de los movimientos horizontales de los puntos de control respecto a un plano vertical	- Buena precisión (mm) - Procedimiento de lectura y tratamiento de datos rápido y sencillo.

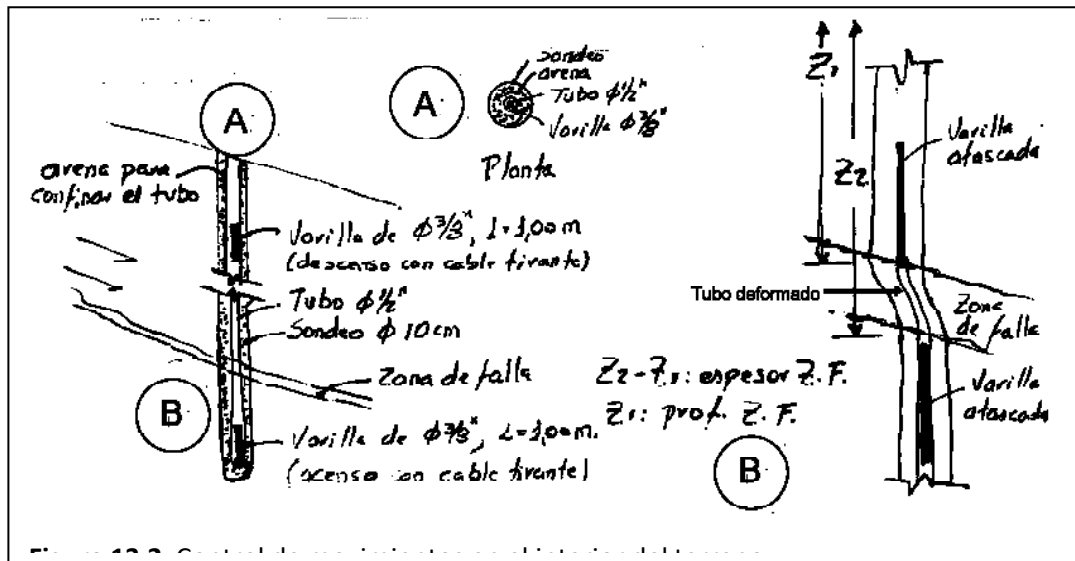
		- Sólo permite controlar movimientos horizontales $\perp$ al plano de colimación



13.3.2 Control de movimientos en el interior del terreno.

Se instalan aprovechando los sondeos, los más comunes son el inclinómetro y el extensómetro.

Equipo	Sistema de funcionamiento	Tipos	Observaciones
Inclinómetro	Medida de inclinaciones en diversos puntos del interior de un sondeo mediante una sonda que da una señal eléctrica proporcional a la inclinación. Permite conocer los movimientos perpendiculares a la dirección del sondeo	De resistencia eléctrica De cuerda vibrante De servoacelerómetros	El más fiable, preciso y de menor tiempo de respuesta es el de servoacelerómetro, que puede lograr precisiones en la medida de giros de $2 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$ Hay que asegurarse en la instalación que el punto inferior de medida se sitúe por debajo de la zona de movimiento.
Extensómetro de hilo o varillas de 1 o más anclajes	Miden movimientos relativos entre la cabeza de un sondeo y/o varios anclajes situados en su interior. Los movimientos de los anclajes se transmiten a la	A De hilos. De varillas. B De lectura mecánica. De lectura eléctrica.	Longitud $< 40\text{m}$ – ext – varillas. Longitud $> 60\text{m}$ – ext – de hilos. Elegir el tipo de anclaje más adecuado para que quede



	boca del sondeo mediante hilos o varillas. Las medidas se realizan en la cabeza mediante procedimientos eléctricos o mecánicos.		sólidamente unido al terreno circundante. Asegurarse que el punto más profundo de medida del extensómetro esté por debajo de la zona de movimiento.

13.3.3 Medida de deformaciones entre puntos superficiales próximos

Consiste en elementos anclados firmemente en los puntos cuya distancia se desea controlar (estacas, mojones, puntillas). La medida se puede realizar con elementos mecánicos (cintas métricas, hilos) o sistemas eléctricos (transductores).

h- CONTROL DE DEFORMACIONES ENTRE PUNTOS SUPERFICIALES PROXIMOS

Sistema de lectura	Sensor de medida	Observaciones
Equipos con sistema de Lectura mecánico	- Cinta de convergencia - Cinta métrica - Calibre - Flexímetro	- La cinta de convergencia es utilizada para distancias de medida grandes (> 2 m) - Baja precisión en la cinta métrica (mm) - Precisión media en el calibre (0,1 mm) - Precisión alta en el flexómetro (0,01 mm)
Equipos con sistema de Lectura eléctrico	- Potenciómetro - LVDT - Cuerda vibrante	- Indispensables cuando se quiere automatizar el proceso de toma de

		datos o los puntos a controlar no son accesibles. - Potenciómetros (cm) - LVDT (mm) - Cuerda vibrante (0,1 mm)

Control de puntos superficiales próximos

Punto	i-S	V	a
1			
2	AS1	AS1/t	AS1/t2
3	AS2	AS2/t	AS2/t2

S, S1 y S2: distancias
ASi: desplazamiento
V: velocidad
a: Aceleración
t: Tiempo en meses, días, horas o minutos

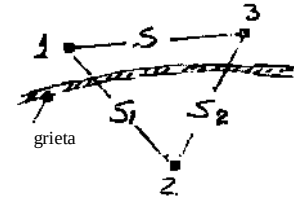
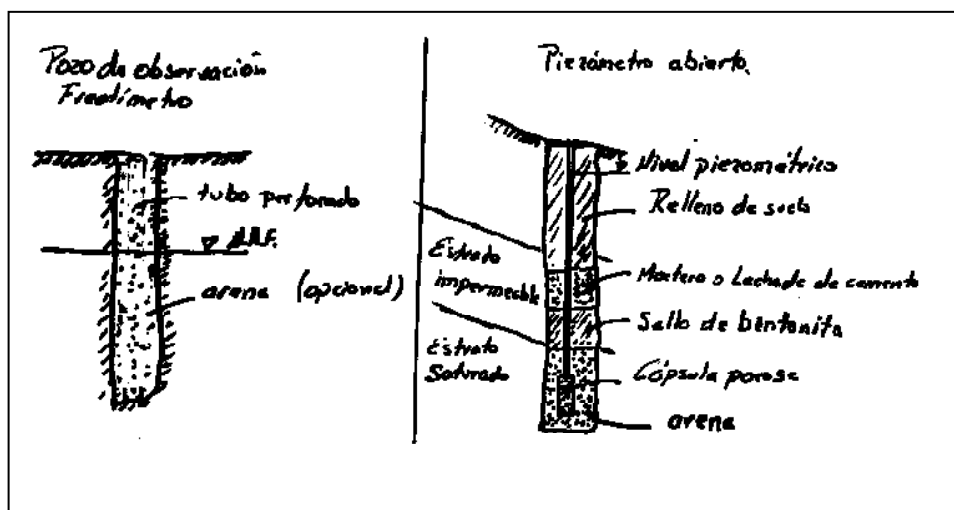


Figura 13.3 Control de puntos

13.3.4 Medidas de presiones intersticiales.

Tipo	Sistema de medida	Observaciones
Pozo de Observación	Tubo ranurado instalado en el interior de un sondeo cuyo nivel de agua se mide con una sonda.	- Medidas de niveles freáticos en terrenos permeables. - No se deben utilizar cuando existan niveles colgados o capas artesianas. - Tiempo de respuesta largo principalmente en terrenos poco permeables. - Movimientos grandes pueden dañar los tubos e impedir las medidas.
Piezómetro Abierto	Tubo ranurado en su extremo inferior, instalado en un sondeo. El extremo inferior se sella para evitar transmisión de presiones intersticiales en el interior del tubo. La medida del nivel se realiza con una sonda.	- Medida de presiones intersticiales en terrenos permeables. - Bajo costo - Solamente se puede instalar en un punto del sondeo - Tiempo de respuesta grande principalmente en suelos poco permeables - Movimientos grandes pueden dañar los tubos e impedir las medidas.
Piezómetro Cerrado	Sensor que detecta la presión intersticial en un punto mediante un transductor que da una señal proporcional a los cambios de presión. - El transductor puede ser neumático, de resistencia eléctrica o de cuerda vibrante.	- Permiten el control de presiones intersticiales en varios puntos de un sondeo. - Mayor costo - Tiempo de respuesta corto aún en terrenos pocos permeables - Poco afectados por los movimientos que se puedan producir en el talud. - Los de cuerda vibrante son precisos y fiables. - Los de resistencia eléctrica pierden precisión con variaciones de temperatura y pierden su estabilidad, a largo plazo, por señales a distancia.

		- Los neumáticos son aconsejables para distancias menores de 200 m.



Para verificar la efectividad de un drenaje horizontal se combinan observaciones en el abatimiento de los niveles (freático o piezométrico) con el aforo en los drenajes horizontales (caudales/tiempo).

13.3.5 Control de fuerzas

Incluyen los equipos para control de cargas en anclajes y los equipos para control de presiones totales en muros de contención o en el interior del terreno.

j- CONTROL DE FUERZAS

Medidas	Equipo	Sistema de Funciona	Tipos	Observaciones
Tensiones en Anclaje	Células de carga	Elementos que instalados entre la cabeza del anclaje y el terreno miden las cargas que un medio transmite al otro.	- Mecánicas - Hidráulicas - Cuerda vibrante - Resistencia eléctrica.	- Los errores se producen por la excentricidad de la carga aplicada sobre la célula (hasta 10%) - Las mecánicas se utilizan si el punto de medida es accesible - Cuando se quiere automatizar se utiliza la cuerda vibrante.
Presiones Totales	Células de Presión total	Equipo compuesto por dos láminas planas metálicas circulares o rectangulares soldadas en sus extremos y rellenas de un líquido que trasmite la presión del terreno a un transductor	- Neumáticas - Hidráulicas - De resistencia eléctrica - De acuerdo vibrante	- Los errores mayores ocurren en la transmisión de la presión del terreno al líquido. - Los transductores neumáticos se utilizan para presiones < 35 kg/cm² - Transductores hidráulicos tiene procedimiento de lectura laborioso

				- Cuerda vibrante: cuando se requiere automatizar y para largas distancias.

LECTURA 13: COLOMBIA INTERMODAL: HIDROVÍAS Y TRENES



Por: Gonzalo Duque-Escobar*

Manizales. Agosto 13 de 2020.

Portada: modernización de puertos <http://agtrans.org/>

Intermodalidad y logística



Imagen1- Una política de Estado para hacer de Colombia un país competitivo. In PMIT 2015-2035: Mintransporte (2015).

El transporte puede definirse como el movimiento de personas y bienes a lo largo del espacio físico, mediante los modos terrestre, aéreo o marítimo, o alguna combinación de éstos. El transporte no se demanda como actividad final, sino como medio para satisfacer otra necesidad. Así como en las telecomunicaciones, el transporte admite configuraciones en red, lo que se traduce en economías

de costos cuando crece el número de usuarios o volumen de carga, facilitando la obtención de economías de escala y modales, asociadas al diseño de sistemas con líneas troncalizadas y rutas de alimentación.

Se conoce como logística al proceso de planear, implementar y controlar eficaz y efectivamente, tanto el flujo como el almacenamiento de bienes o servicios, y la información entre un origen y un destino. La misión de la logística es contar con los bienes o servicios necesarios, en el lugar, tiempo y condición deseada, previendo las contingencias y administrando los costos. Una cadena logística, entendida como el conjunto de eslabones necesarios para satisfacer el posicionamiento de bienes o servicios, bajo características de eficacia y eficiencia, presenta tres grandes componentes estructurales: Abastecimiento, Producción y Distribución.

Transporte y PIB en Colombia



Imagen2- El PMTI, que no solo olvida que las reservas de petróleo se acabarían en pocos años al no proponer la locomotora del carbón andino, tampoco propone un sistema férreo eficiente e integrado cruzando por túneles a baja altura las cordilleras. Imagen en: PMIT 2015-2035.

Para el caso colombiano, en 2018 la participación del sector en el PIB se mantuvo en el 5%; el transporte terrestre, incluyendo el vial y el férreo, aportó el 67% al interior del sector transporte. El 80% de la carga nacional y el 3% del comercio exterior se transporta por modo vial. A nivel de carga nacional, los bienes movilizados corresponden, en su mayoría, a productos de los sectores de comercio, manufacturas (incluyendo bienes agroindustriales), agro y minería. Según el Informe

Nacional de Competitividad 2017-2018, los altos costos del transporte de carga sumados a la falta de zonas adecuadas de cargue y descargue, son la principal barrera que impacta la logística en Colombia.

Según la Superintendencia de Puertos y Transporte, las nueve zonas portuarias de Colombia en 2014 movilizaron 185 millones de toneladas, cifra equivalente al 98% del comercio exterior del país, donde la carga en contenedores participó con 2,13 millones de TEU, de los cuales 1,58 millones correspondieron al Caribe y 0,55 millones al Pacífico. En Colombia para el 2014, aunque la carga exportada (66 Mt) triplica la importada (22 Mt), sólo se movizaron cerca de 2,5 millones de TEU al año, y de ellos la cuarta parte por Buenaventura. Mientras en su orden Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, respondieron por el 69,4% de los movimientos, por Buenaventura se movilizó el 30,6% de la carga en contenedores del comercio exterior de Colombia.

Los contenedores

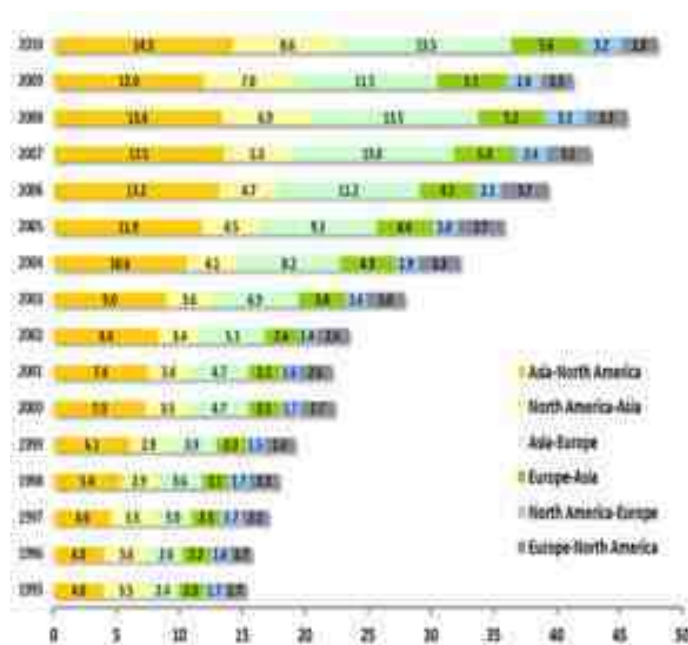


*Imagen3-Tráfico marítimo intercontinental en contenedores y entre mega regiones, en 1995-2010.
Fuente, People.hofstra.edu.*

El contenedor entró en escena en 1956 y revolucionó el mundo de la carga: los 6 dólares por tonelada movilizada en el puerto se convirtieron en 0,16 dólares por tonelada. Menos tiempo y menos mano de obra: los buques pasaron de reposar semanas en el muelle a quedarse horas; de transportar 10.000 toneladas a 16 nudos, a 40.000 toneladas a 24 nudos; de rendimiento de 0,63 ton/hora/hombre a 4,23 ton/hora/hombre.

En los puertos los muelles largos, con bodegas y estibadores, se transformaron en puertos de patios descubiertos y anchos, con grandes grúas de carga. Los barcos también se transformaron en planchones, de mayor calado y capacidad, para acceder a las economías de costos. El contenedor ha facilitado el transporte intermodal y la generación de sistemas de puertos secos, en red con puertos y aeropuertos, y ha permitido reducir los costos de bodegaje que suelen ser una carga onerosa para el producto.

Mientras en 2000 el volumen de tráfico marítimo mundial de contenedores en millones de unidades equivalentes a 20 pies de TEU fue 200 millones de TEU y en 2010 llegó a 561 millones de TEU, para 2018 la cuantía superó los 792 millones de TEU. Shanghai con más de 42 millones de TEU mantuvo su primer lugar superando a Los Ángeles que con 9.5 millones de TEU es el más activo de USA.

Un enfoque logístico



Imagen4- Hidroviás del Magdalena y Atrato, y Corredor Férreo del Cauca, extendido a Urabá, Cupica y La Dorada. Imagen: adaptada de <http://latoma.paris-sorbonne.fr/>

Los primeros empleadores del mundo, son puertos y aeropuertos, cuando son nodos del transporte y no lugares de paso. En la década de 1920, el impacto de los trenes cafeteros en Colombia resultó comparable al del Canal de Panamá inaugurado en 1914: si bien, tras la inauguración del Ferrocarril de Panamá en 1855, la primera metrópoli de Colombia fue la capital del Istmo, también con obras como el Ferrocarril de Antioquia que redujo veinte veces costo y tiempo de movimientos de carga entre Medellín y Puerto Berrío, o la del Ferrocarril de Caldas que llegó a Manizales en 1927, tras el poblamiento del occidente colombiano, se facilita la industrialización del país gracias al binomio café-ferrocarril.

Partiendo de que el Río Grande de la Magdalena es Colombia, en lugar de poner a competir a lo largo de la hidrovia ferrocarril, carretera y río, y de detener la navegación en La Dorada sin

concebir que los corredores logísticos deben tener conectividad y continuidad, pregunto: ¿por qué no llevar la navegación hasta Neiva remontando el salto de Honda tal cual se hizo para llevar por agua los equipos para las hidroeléctricas del Huila? ¿acaso no sería conveniente integrar a través del Meta las hidrovías del Magdalena y el Orinoco? ¿por qué no desarrollar el corredor férreo del río Cauca extendiendo el tren desde Buenaventura hasta Urabá?, ¿por qué no construir el Ferrocarril Cafetero con un túnel de 42 km a 1250 msnm y pendiente máxima del 3%, entre Perico y el Km 41?

Impactos en El Río Grande



Imagen5- Vapor remontando los rápidos del Salto de Honda, Tolima, frente al talud de Puerto Bogotá. Thomas S. Boyd 1889)

Con la navegación por el Magdalena, gracia a que entre los beneficios de la hidrovía operando al 100 por ciento del tiempo se daría una reducción de los fletes superior al 40% y la movilización de seis millones de toneladas en un horizonte moderado, además de generarse más de cien mil empleos para Colombia, según estimaciones de la Fundación Igala de la Universidad de Caldas hechas desde los años 90, se produciría actualmente un incremento del PIB mayor al 1,2% de participación. Cuantía que podría incrementarse en otro 0,4% del PIB gracias a la hidrovía, sumada a la disponibilidad de energía y agua suficientes en caso de desarrollarse las industrias químicas de base minera contempladas en el Plan Minero de Caldas 2010-2016 elaborado por Gabriel Poveda Ramos.

Según dicho Plan, de las jaguas y gangas de las explotaciones auríferas de Caldas y vecinas, se podría obtener apreciables cantidades de sulfuros de zinc, plomo, hierro, cobre, antimonio y arsénico, o zinc metálico y sus derivados; el manganeso de Apía y Viterbo, es un yacimiento

minero-metálico importante para su eventual aprovechamiento; existen arenas síliceas de alta pureza en cuarzo (SiO_2) en Pueblo Rico y el Valle del Cauca, y posiblemente en otros lugares, para industrias de silicato de sodio, sílice-gel y carburo de silicio; de los yacimientos de calizas en el oriente caldense y de la otra vertiente de la cordillera Central podrían proveerse materias primas para una industria de carburo y fosfatos fertilizantes, y en un plano de mayor nivel de desarrollo para plantas de acetileno, cianamida, cloruro químicamente puro y cemento.

NOTA: CARGA MOVILIZADA POR EL MAGDALENA:

AGUAS ARRIBA: -Graneles Líquidos: Alcohol, Nafta, químicos; -Graneles Sólidos: Maíz, trigo, lenteja, Frijol, arroz, azúcar; -Carga general: Electrodomésticos, herramientas; -Fertilizantes: 350.000 ton; -Contenedores: 1.220.000 TEU. AGUAS ABAJO: -CAFÉ: 350.000 ton/año; -Petróleo crudo: 15.000 barriles/día (exportación de compensación por cada 5 millones de toneladas transportadas); -Coque: 400.000 ton; -CEMENTO: 20.947 ton; -Contenedores llenos: 800.000 TEU; -Contenedores vacíos: 300.000 TEU; -Contenedores refrigerados: 100.000 TEU. Fuente: Roy Estrada, Manizales, agosto de 2020.

FUENTE: ROY ESTRADA (AGOSTO 2020)

Estos datos son muy importantes. ¿Sería posible presentarlos como una tabla?

Alcances de la hidrovía y la red férrea



Image6- Red férrea actual con 1795 km, y red ferroviaria propuesta para Colombia proponiendo integrar a Buenaventura con Urabá, el Ferrocarril Cafetero y un paso interoceánico. Fuente ANI. Ada. por GDE.

Lo anterior, además de conectar al país andino, puede irrigar los beneficios de la navegación por el Tolima Grande navegando a través del Salto de Honda para llegar a Neiva, y facilitar luego la conexión por tren del Altiplano y de la hidrovía del Meta, con nuestros dos mares saliendo desde Bogotá al Pacífico por Buenaventura y Cupica, y al Caribe colombiano por Urabá y por Barranquilla.

Como fundamento de la intermodalidad, trenes e hidrovías pueden ser rentables en rutas troncales conectando nodos a gran larga distancia, con frecuencias suficientes y movilizand o grandes volúmenes de carga. Un ferrocarril que normalmente puede movilizar hasta diez trenes por día, requiere al menos uno diario para resultar rentable: mientras La Drummond y Cerrejón mueven 8.5 y 9.2 trenes de 10 mil toneladas por día, del Ferrocarril de Pacífico que no alcanzaba la meta de 140 mil toneladas al año al 2010, se trazó como meta al 2015 aumentar la carga mov ilizada a 960 mil toneladas anuales, lo que equivaldría a 8 trenes tipo cerrejón por mes o un tren de montaña llevando 2500 toneladas por día.

Estas extensiones le darían sentido a una variante férrea con túneles y viaductos por Loboguerrero, que resuelva las limitaciones del Ferrocarril del Pacífico, optando por esta alternativa ferroviaria con economía en recorrido y mayor eficiencia, en lugar de llegar a Yumbo por una ruta 100 km más larga para remontar la Cordillera por La Cumbre, donde solían observarse dos locomotoras empujando cinco vagones cargados, contra 50 que podría llevar una sola máquina marchando por terreno plano.

El Ferrocarril Cafetero y el Túnel Cumanday



Imagen7: Ferrocarril Cafetero. Propuesta UN-SMP sobre mapa de Opciones viales Mariquita-Manizales, diseñadas por Civiltec Ing. Ltda para el Invias.

Con el Túnel Cumanday de 42 km a 1250 msnm, conectando las cuencas de los ríos Guacaica (Caldas) y Guarino (Tolima), transitando por el Norte de Cerro Bravo, se puede construir una línea ferroviaria de 150 Km con pendiente máxima del 3%, que cruce la Cordillera Central por las granodioritas estables del Stock de Manizales- lo que le garantizaría autosoporte al túnel-. Este proyecto integraría la hidrovía en La Dorada con el Ferrocarril del Pacífico en el Km 41, dos lugares donde se podrán desarrollar sendas plataformas logísticas dotadas de polígonos industriales y de zonas francas.

Un plan "multi" pero no intermodal

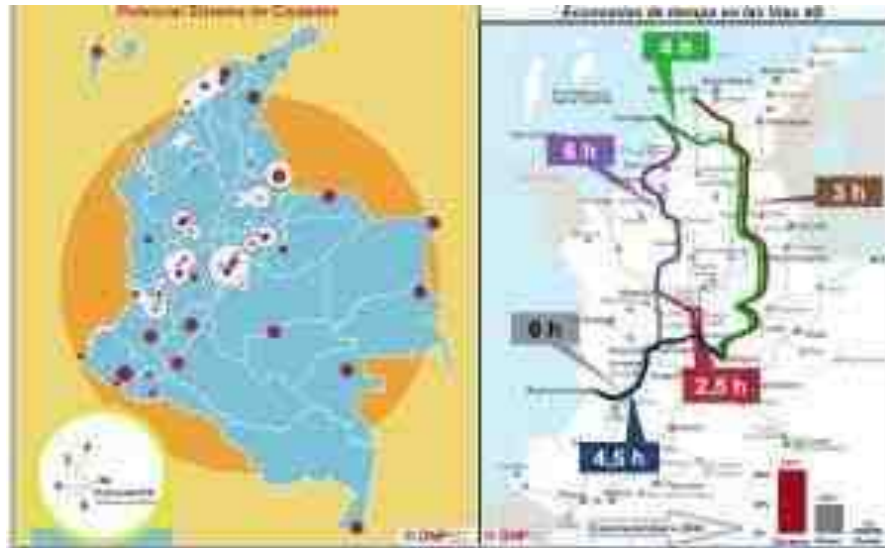


Imagen8- Colombia PMTI: Sistema de Ciudades y Economías de las Vías 4G

El propio gobierno consciente de que con la intermodalidad vial puede reducir los costos de exportación entre el 15% y el 50% y promover el comercio, igualmente debería extrapolar dichos impactos sobre las exportaciones e importaciones del país, en un escenario de trenes e hidrovías con carga suficiente, interactuando con un enfoque intermodal.

Por fortuna Caldas ha incorporado en el Plan de Desarrollo 2020-2023 la hidrovía, así esté pendiente el Ferrocarril Cafetero que tendrá que esperar la expansión del tren a Urabá y la variante férrea por Loboguerrero.

Destrabando las arterias

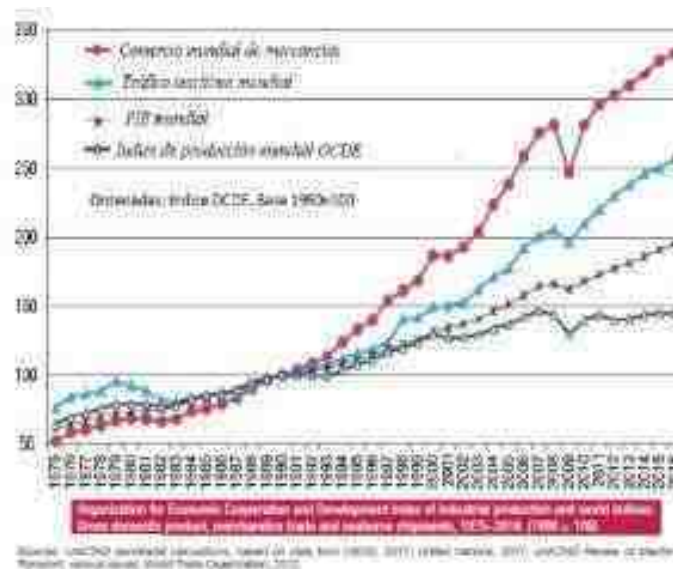


Imagen9-: Dinámica del comercio y tráfico marítimo vs. PIB mundial e Índice OCDE, entre 1975 y 2016. Fuente: Puertos y navieras.

Se estima que el valor agregado por el sector transporte está entre 3 y 5% del PIB. La inversión pública en transporte es de 2 a 2,5% del PIB, y en algunos países de hasta un 3,5 %. En materia de empleo, el sector transporte genera entre un 5 y un 8% de los sueldos y salarios totales. En los países en vías de desarrollo, la demanda de transporte de carga crece 1,5 a 2 veces más rápido que el PIB, mientras que el de pasajeros igual que el PIB. Según el PMTI 2015-2035, una reducción del 1% en el costo "ad valorem" de los fletes, puede aumentar las exportaciones entre 6 y 8 veces.

Al respecto, según el estudio "Destrabando las arterias... (BID 2010)", aislando el impacto de los fletes de otros factores, una reducción del 10% de los costos de comercio produciría un aumento de las exportaciones/importaciones intrarregionales de más del 60%/50%. Señala también dicho estudio que tal expansión sería en promedio mayor para los productos manufacturados (66,3%/48,4%) y para los minerales y metálicos (69,2%/47,1%), que en los productos agrícolas (54%/42,9%).

Más visión marítima

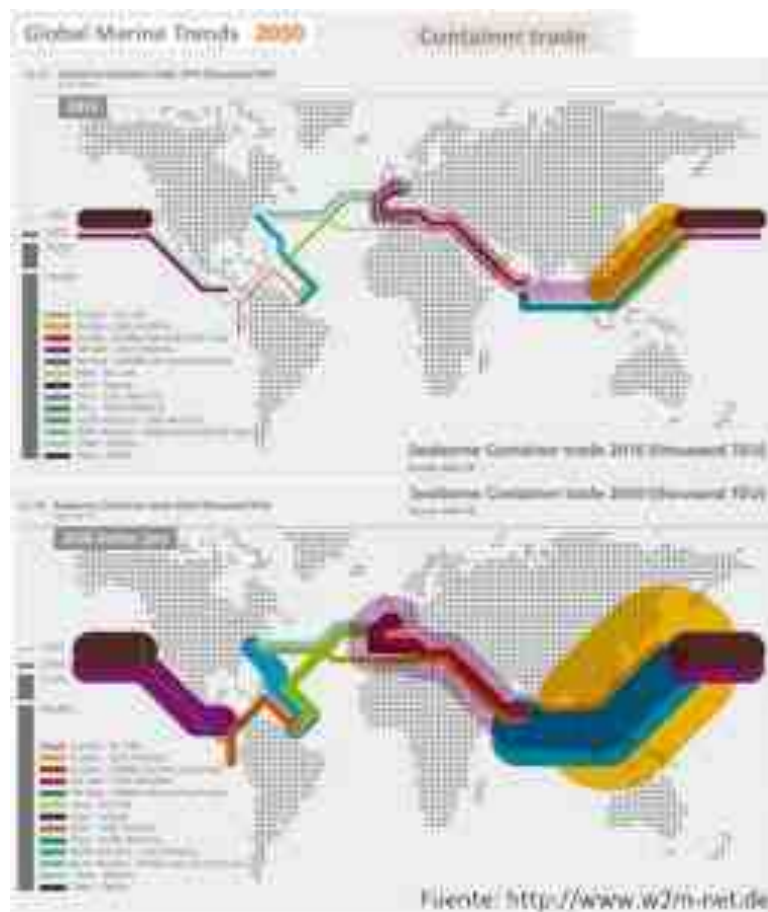


Imagen10-: Obsérvense los niveles que alcanzaría el flujo de marítimo de contenedores entre 2010 y 2030, creciendo el comercio 1,5 veces lo que crecía la economía global antes de la pandemia. Global Marine Trends

Según la Cámara Colombiana de Infraestructura CCI, mientras el sistema multimodalidad en Europa moviliza el 60% de las mercancías, en Colombia por la falta de articulación entre los modos fluvial y ferroviario sólo se alcanza al 1,5%. De ahí la importancia del desarrollo del Corredor Férreo del Cauca, articulado a la Hidrovía del Magdalena.

En relación con la economía del transporte de carga, como referente el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2023, señala dos retos: 1- Mejorar la calidad de la infraestructura y los servicios de transporte, reduciendo la disparidad entre modos e impulsando su integración, y 2- Reducir los costos logísticos, que en la actualidad representan en promedio el 13,5% sobre las ventas; la estrategia para alcanzar tales objetivos, contempla entre otros aspectos, aumentar la red férrea en operación comercial llegando a 1.077 km, implementar proyectos intermodales para mejorar la prestación del servicio, e incrementar la eficiencia de puertos y aeropuertos.

Los modos en Colombia



Imagen 11-. Panorama del sistema ferroviario de Colombia: la década 2002 – 2012, cerró con un máximo de 76,8 Millones de toneladas. Fuente, PMIT 2015-2035.

El transporte en Colombia donde se subraya que la principal transformación ha sido la sustitución del transporte fluvial y férreo por el modo carretero, no ha experimentado cambios importantes en los últimos cincuenta años; mientras el transporte aéreo en volumen de carga no ha tenido un crecimiento notable, para finales del siglo XX el transporte carretero moviliza la mayor proporción. Cada día entran 900 TEU y sales 600 TEU de Bogotá: mover un contenedor desde el Altiplano hasta los mares de Colombia, cuesta en promedio U\$2400 y llevarlo de allí hasta el Asia, U\$ 1500.

En 2015, en tractomulas y otros camiones se movilizaron en Colombia el 73% por ciento de la carga, mientras que por el ferrocarril el 26% y por el sistema fluvial el 1%. Además, según el PMTI en los 222 mil km de vías para el sistema de transporte, la red fluvial poseía el 8,2%, la férrea 0,4% y el modo carretero el 94,1%. Dado que en contenedores Bogotá sólo genera 6 millones de toneladas anuales, y que la carga movilizada por el río, se estima en 8 millones de toneladas-año mientras contamos con petróleo, habrá que implementar la locomotora del carbón andino no solo para hacer rentable el sistema de barcazas por el Magdalena, sino también y sobre todo para darle viabilidad económica y logística a la red ferroviaria que ya se ha sugerido, sobre todo a lo largo del corredor del Río Cuaca estableciendo el Corredor Logístico Urabá-Buenaventura, conectado a hidrovía en La Dorada.

PMTI y competitividad



Imagen12- Colombia – PMTI: Costos de Exportación donde se observa cómo Colombia al depender del transporte carretero duplica a Perú y Chile, y supera a México. PMTI 2015-2035, Ministerio del Transporte.

La precaria competitividad del transporte en Colombia se explica por problemas logísticos y de carencias en infraestructura, y por la inexistencia de un sistema intermodal de carga, lo que conduce a elevados costos de exportación, tiempos muertos, dependencia del transporte carretero, congestión del sistema y falta de conectividad entre los centros de producción con los puertos y con los centros de consumo. Al año 2018, mientras el 80% de la carga nacional y el 3% del comercio exterior se transporta por modo vial, el modo férreo moviliza el 16% de la carga nacional, en su mayoría carbón, mientras el modo aéreo, con una ponderación del 13% al interior del sector

transporte, sólo moviliza el 0.06% de la carga nacional y el 0.3% de la carga internacional. Finalmente, para dicho año el transporte por agua que a nivel nacional participa con el 1.7%, a nivel internacional lo hace con el 96%, distribuido así: 77% exportaciones y 23% importaciones.

Según la Cámara Colombiana de Infraestructura CCI, los costos del transporte en los principales renglones de exportación de Colombia (petróleo, carbón, flores, café y textiles), representan entre el 10% y 35% del valor, cuando en el orden internacional su incidencia es del 6%.

En la Unión Europea, donde la logística contribuye aproximadamente con el 14 % del PIB y da empleo a más de once millones de personas en los estados miembros, el principal desafío que se afronta consiste en minimizar el impacto ambiental y en especial en la salud pública del transporte de mercancías, sobre todo por carretera, responsable de aproximadamente una cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero de todo el sector.

Economía en fletes, como detonante del crecimiento



Imagen13- Con el Ferrocarril Cafetero cruzando la cordillera Central de Colombia por las granodioritas vecinas a Cerro Bravo y el Nevado del Ruiz, se implementaría un sistema Intermodal de carga para Colombia, articulado a la hidrografía del Magdalena. Imagen de RODA, adaptada.

Ahora, sabemos que Colombia, que no ha aprovechado a fondo los 16 Tratados de Libre Comercio TLC ya firmados, necesita diversificar su producción: sobre esto el citado estudio del Banco Interamericano de Desarrollo estima que, una reducción de los costos de comercio del 10%, además de incrementar el volumen global de los flujos de mercancía y con ellos la carga movilizada, también diversificaría los bienes transados, al propiciar un crecimiento de entre un 9% y 10% en la cantidad de productos importados y exportados en la región. Si para Argentina esto le representaría en cantidad 210 productos, para Brasil, Colombia y Perú serían en su orden 253, 53 y 51 productos.

Para desarrollar una oferta exportable orientada a los nuevos mercados en el marco de los TLC se requiere de una política productiva soportada en la innovación como estrategia competitiva, que promueva la inversión y el desarrollo de nuevos BB y SS.

Con el Ferrocarril Cafetero cruzando la cordillera Central de Colombia por las granodioritas vecinas a Cerro Bravo y el Nevado del Ruiz, se implementaría un sistema Intermodal de carga para Colombia, articulado a la hidrovía del Magdalena. Imagen de RODA, adaptada.

El carbón andino

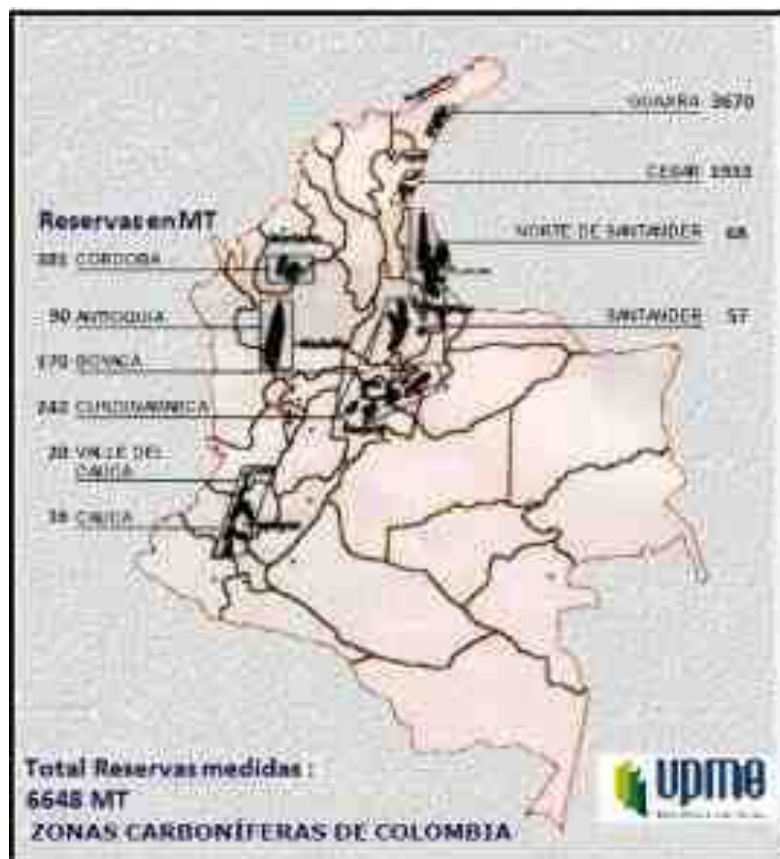


Imagen14-: Colombia cuenta con unas reservas medidas de 7 mil millones de toneladas MT de carbón. Fuente: UPME.

Los carbones colombianos son básicamente duros (términos 1A, y algunos metalúrgicos, coquizables y antracitas), y son reconocidos mundialmente por tener bajo contenido de cenizas y azufre, y ser altos en volátiles y en valor calorífico. Colombia posee las mayores reservas en Latinoamérica y es el quinto exportador de carbón térmico del mundo. En 2014, la producción nacional superó los 84 millones de toneladas MT, 93% de ella concentrada en La Guajira y Cesar donde la explotación es a gran escala, y 7% en el interior donde se destacaron los distritos carboníferos de Santander, Cundinamarca y Boyacá, y en menor grado Antioquia, todos estos explotados con una minería de corte artesanal y de alta generación de empleo.

En el período 1980-2004, cuando el comercio de carbón en Asia-Pacífico aumentaba 3,6 veces y el consumo mundial pasaba de 2.780 Mt a 4.282 Mt, Colombia con 7 mil Mt de reservas medidas (que a la vista podrían ser el doble), tiene posibilidades sacando el carbón andino si desarrolla la hidrovía y los trenes. Las reservas medidas de los distritos carboníferos de Cundinamarca y Boyacá suman 412 millones de toneladas MT. Este carbón es de 7000 calorías por kilogramo, el de Cerrejón de 6000 calorías y el de Antioquia de 5000 calorías. En Antioquia, donde las reservas llegan a 90 MT de carbón térmico clase 1 A, la producción del primer lustro del siglo XXI, alcanzó una media de 0,8 Mt por año. Y pese a que por el cambio climático al 2050 deberá reducirse el 80% del consumo mundial de carbón, el 50% del gas natural y el 30% del petróleo, habrá que consumir las enormes reservas del país en los próximos 40 años, asunto por fortuna viable gracias a que todo el carbón de Colombia es de buena calidad.

Ferrocarriles integrando la Región Andina a los mares

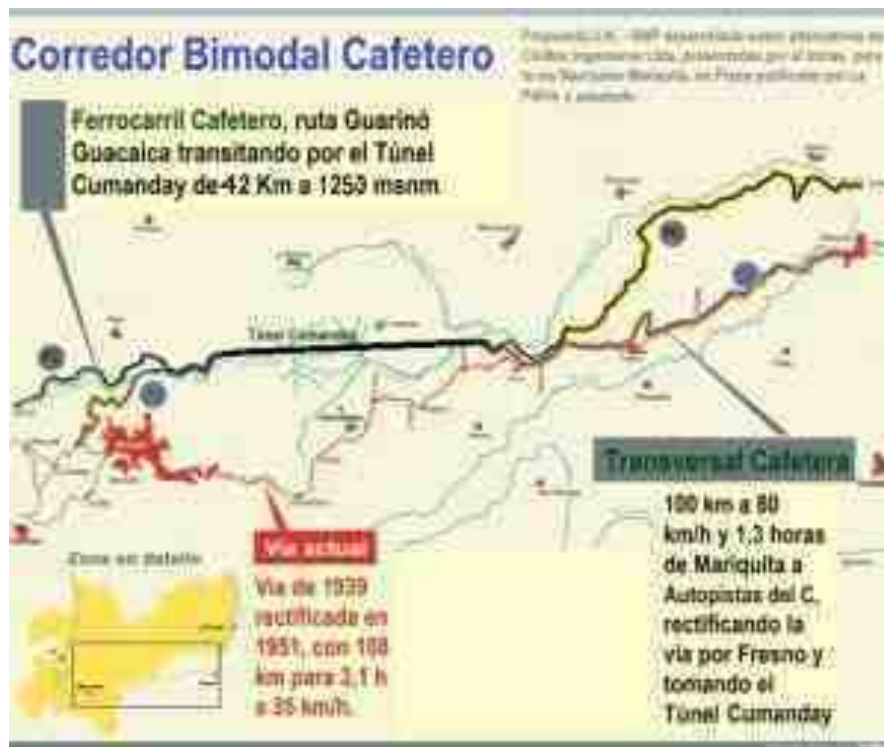


Imagen15- Ferrocarril Cafetero – Colombia – Túnel Cumanday Largo, sobre Propuesta de Civiltec en mapa de La Patria

En ese contexto, viene la pregunta: y el Plan Maestro de Transporte Intermodal de Colombia, 2015-2035 ¿qué?: 1- Por no definir los principales centros de gravedad de generación de carga en la Región Andina donde se produce el 70% del PIB y genera el 70% del volumen de carga de Colombia, como lo son el Altiplano (30% Carga y 40% PIB) para el Centro y el Corredor del Cauca (40% Carga y 30% PIB) para el Occidente, no identificó los corredores logísticos Norte-Sur transitando por ambas cuencas de la región andina como elementos estructurantes, ni integró adecuadamente Altiplano y Corredor del Cauca entre si y con los puertos, pensando que el sistema carretero era suficiente para llegar a nuestros mares; y 2- Colombia, a pesar de su desarrollo férreo de hace un siglo, por seguir pensando en el transporte carretero, no solo se ha olvidado de su conexión con la Cuenca del Orinoco y continúa desarticulada de sus dos mares, sino que tampoco ha aprovechado la mejor esquina de América para integrar sus mares, olvidándose del impacto de los ferrocarriles en Colombia, y en especial de los ferrocarriles cafeteros, comparable al del Ferrocarril de Panamá de 1855.

Visión continental



Imagen16-: Además de acceder a los dos mares, el país debe entrar a las cuencas de la Amazonía y Orinoquía que son medio continente suramericano, implementando corredores logísticos que remonten los Andes al pasar por los nodos donde está la cadena de valor: Bogotá y Quito.

Las cuencas del Orinoco y del Amazonas, cubren el 46,7% del Continente Sudamericano. Si en la colonia se pensaba que la del río Meta, era la ruta entre la Nueva Granada y España, hoy Colombia debe considerar la conexión con el Orinoco por el río Meta como arteria que es navegable en 850 km durante el 90% del año, o en su defecto la vía del río Guaviare dado el régimen estival prolongado del Meta, concibiendo el proyecto de la hidrovía en el marco de un corredor logístico que partiendo del Orinoco continúe al altiplano y siga a La Dorada.

Y en cuanto a la hidrovía por el Amazonas, es un asunto en sumo grado complejo dados los impactos por un dragado que supone remover, succionar, transportar y descargar sedimentos del río para depositarlo en otra zona del mismo, generando impactos en el hábitat con posibles consecuencias para el ecosistema íctico y las actividades de pesca artesanal.

No obstante, la hidrovía del Amazonas, ecológicamente bien diseñada y administrada por las comunidades del propio territorio, considerando el control a la colonización y previniendo la deforestación, podría ser objeto de un corredor ambiental, como soporte de un sistema logístico que pasando por Manaos conocida como la "Metrópoli de la Selva", beneficiaría entre otros poblados rivereños a Leticia además de recoger a Iquitos, para luego continuar por el río Napo y avanzar por vía terrestre a Quito como nodo de la cadena de valor.

Un paso interoceánico



Imagen17- Puerto Quibdó, Atrato (Fascinating Humanity), y Ferrocarril Verde Urabá Cupica complementado con la hidrovía del Atrato (El Colombiano)

En lugar del puerto de Tribugá generando un impacto funesto sobre los ecosistemas vecinos a la ensenada y compitiéndole a Buenaventura, se propone Cupica para establecer un paso interoceánico que lo complemente, y hacer socias del proyecto a las comunidades ancestrales del territorio para prevenir un modelo de enclave, utilizando como opción ambiental articular los mares de Colombia mediante un ferrocarril interoceánico que lo uniría al complejo portuario antioqueño

Además de la hidrovía del Atrato que irrigaría los beneficios al Chocó Biogeográfico, dicha línea férrea transitando por Vigía y Chigorodó para no interferir el tapón del Darién, empalmaría el proyecto a un sistema intermodal de carga para Colombia soportado en ferrovías e hidrovías. Si se busca un verdadero desarrollo, es necesario partir del enorme potencial pesquero del Pacífico colombiano.

Lo anterior implicaría dotar a la comunidad de un astillero para embarcaciones pesqueras, equipos para el procesamiento de pescados y mariscos, fuentes de energía y unidades térmicas para refrigerar la cosecha marina, sistemas de conectividad para sacar dichos alimentos, y programas integrales de formación y capacitación en estas materias. Lo anterior podría traducirse en decenas de miles de empleos dignos y remunerados para los habitantes del Pacífico.

Urabá frente a los mares de Colombia



Imagen18- Urabá Colombia – Cuenca de Turbo y Vía al Complejo Portuario de Antioquia.

El Plan Maestro de Transporte Intermodal que no contempla el desarrollo del Corredor Férreo del río Cauca, tampoco incluye a Urabá, el lugar más cercano del Caribe a los principales centros de producción y consumo de la región Andina de Colombia donde, además el tradicional puerto de Turbo se transformará en el puerto multipropósito de Pisisí, también Conconcreto invertirá U\$1.000

millones para un nuevo puerto en Necoclí y, adicionalmente, la clase empresarial de Antioquia hace lo propio para construir Puerto Antioquia de U\$536 millones sobre la margen del río León en el sector Sur de Urabá; todo este desarrollo aprovechando la Autopista al mar que hará más competitivo el estratégico lugar, a donde se debería llevar el tren para articular los mares de Colombia.

Ahora, si se opta por la transversalidad del medio ferroviario y dicha extensión buscando un verdadero sistema intermodal de carga que alimente las hidrovías y llegue a nuestros puertos, el desarrollo portuario antioqueño traería ventajas para Colombia, por dos razones: primero, porque Turbo a mitad de distancia entre Necoclí y el Río León, dista por tierra 340 kilómetros de Medellín, 780 kilómetros de Bogotá y 525 kilómetros de Manizales; y segundo, porque al igual que en Panamá el Ferrocarril del Istmo detonó la primera metrópoli de Colombia, el paso interoceánico Urabá-Cupica, además de llevar beneficios al Chocó Biogeográfico, haría lo propio creando condiciones para una gran urbe en el citado lugar.

Plataformas logísticas del Eje Cafetero

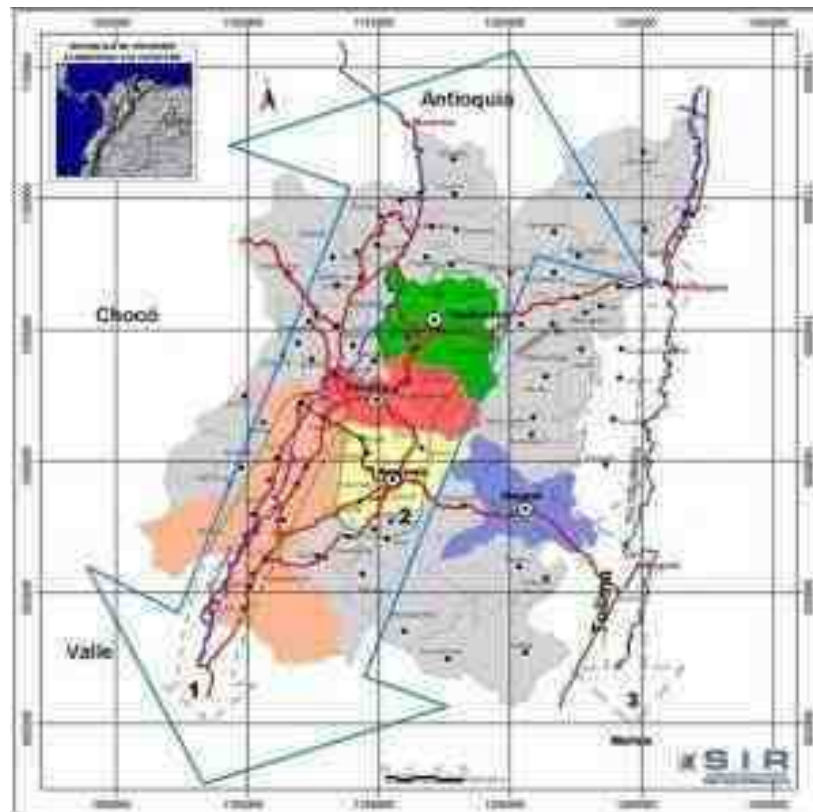


Imagen19- Ecorregión Eje Cafetero: potenciales áreas metropolitanas en un territorio conurbado.

Fuente: <http://www.sirideec.org.co>

Para empezar preguntémosnos: ¿las plataformas logísticas del Eje Cafetero dónde deberían quedar? permítanme algunas consideraciones sobre su ubicación: la del Oriente Magdalenense debería

quedar sobre la convergencia del ferrocarril, la carretera y la hidrovía en un lugar seguro frente al riesgo de inundaciones, ventaja que favorece al proyecto del puerto Gibraltar en Purnio; y la del Corredor del Cauca, sobre la convergencia del ferrocarril y la troncal de occidente (Pacífico 3): este sería el caso del Km 41 y de la Virginia. Además, si una plataforma logística como superestructura, debería contar con Puerto intermodal, Polígono industrial y Zona franca, estos tres elementos, en especial las plantas industriales, espacialmente pueden estar algo separadas, pero nunca ubicadas sobre una llanura de inundación. Habrá que pensar en el agua y en la generación de energía.

Mientras en Purnio y en La Esmeralda, además de carbón en las vecindades, existen las respectivas subestaciones de propiedad de la CHEC, para una componente industrial que tiene que ser orientada a industrias químicas de base minera, ambos escenarios se favorecen por su vecindad a fuentes minerales cercanas, y a acuíferos subterráneos para contar con agua suficiente.

Finalmente, estos dos desarrollos que deben ser paralelos para lograr sinergias regionales entre departamentos, para resultar viables deben partir de sendas asociaciones de municipios: una entre Honda, La Dorada y Puerto Salgar; y la segunda, entre las potenciales áreas metropolitanas de Pereira y Manizales.

Epílogo I



Imagen20- El transporte férreo y fluvial como medios para acceder a nuestros mares, suelen ser más eficientes que el sistema carretero; Colombia requiere un sistema intermodal de carga soportado en trenes e hidrovías. Fuentes Geotren.es y Google Earth Adap.

El Ferrocarril Cafetero como propuesta de la U.N.– SMP de Manizales, cruzando la Cordillera Central de Colombia, y el Corredor Logístico del río Cauca integrando Buenaventura con Urabá y con la hidrovia del Magdalena como su extensión, es la clave para implementar un sistema intermodal de transporte de carga en la Región Andina del País que haga viable la salida hasta los mares. La implementación y puesta en marcha de este proyecto y su complemento, se podría financiar con la locomotora del carbón andino exportado a la cuenca del Pacífico.

Además, con el advenimiento de la troncal interoceánica por el Nuevo Canal de Panamá, sumado al desarrollo portuario y urbano de Urabá, Colombia podrá sacar ventaja estableciendo un paso interoceánico entre Urabá y Cupica, mediante el Ferrocarril Verde o del Atrato pasando por Chigorodó y Vigía del Fuerte, complementado con la hidrovia del Atrato.

También, además de la extensión del sistema ferroviario desde Urabá a Buenaventura y hasta Cupica, se propone, incorporar al país a la cuenca del Orinoco por lo menos, y dos plataformas logísticas dotadas de Puerto intermodal, Polígono industrial y Zona franca, como infraestructura complementaria ubicada en los nodos de la intermodalidad de la Región Andina, donde se cruzan los nuevos corredores logísticos.

Epílogo II

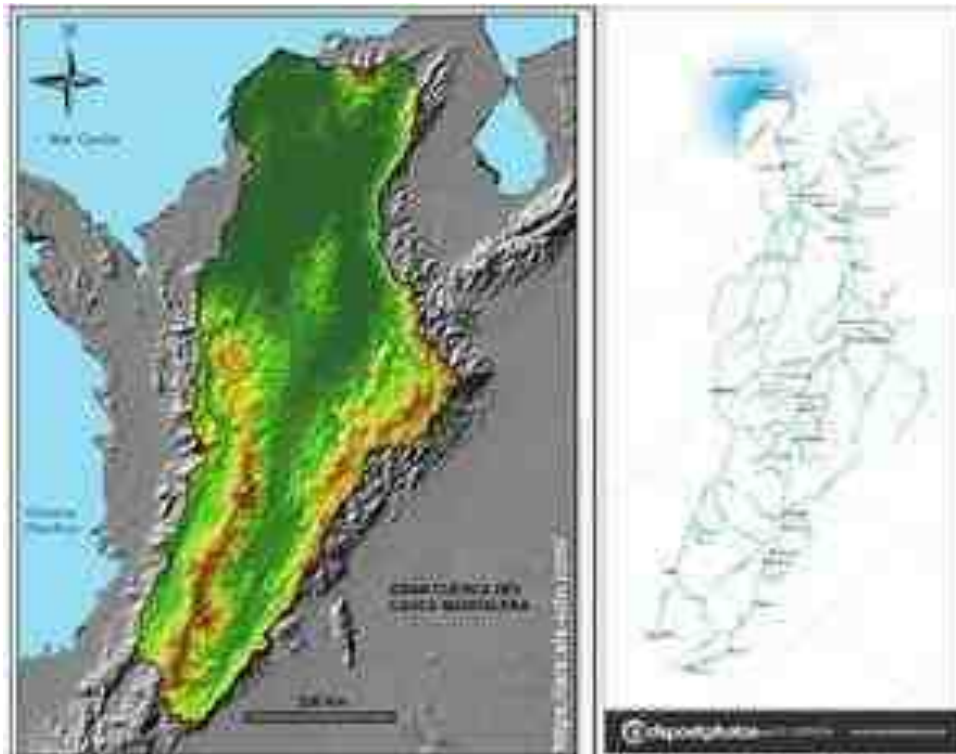


Imagen21-: Gran Cuenca del Magdalena-Cauca (ars-els-cdn.com y st4.depositphotos.com)

Las dos plataforma logística, que favorecerían al Eje Cafetero, y que para garantizar la intermodalidad quedarían: la del Oriente Magdalenense sobre la convergencia del ferrocarril y la carretera con la hidrovia; y la del Corredor del Cauca, sobre la convergencia del ferrocarril y la troncal de occidente (Pacífico 3), son diferentes a una plataforma logística para el modo aéreo como la que compartirían Chinchiná y Palestina de dotarse el escenario con un aeropuerto de

alcance transoceánico que pueda además de apalancar un turismo garantizar el acceso a mercados lejanos para exportar perecederos (flores, frutas, hortalizas...) y productos con valor agregado que no van por tierra o agua buscando el mar.

Además del puerto multimodal y de la zona franca, las plantas industriales para producir commodities en especial, espacialmente pueden estar algo separadas, ubicadas de cara a la materia prima en una zona geológicamente estable bien equipada. En Purnio y en La Esmeralda, además de agua suficiente y de carbón en las vecindades, existen las respectivas subestaciones, como elementos necesarios para una componente industrial que tiene que ser orientada a industrias químicas de base minera, con fuentes minerales cercanas.

Finalmente, dos desarrollos urbanos que deben ser paralelos para lograr sinergias regionales entre departamentos, y hacer viable las plataformas logísticas; para desarrollar las plataformas logísticas deben implementarse sendas asociaciones de municipios: una entre Honda, La Dorada y Puerto Salgar; y la segunda, entre las potenciales áreas metropolitanas de Pereira y Manizales.

Gracias Museo Interactivo Samogá. Documento Universidad Nacional de Colombia y de la SMP de Manizales. Manizales, Agosto 13 de 2020.

<u>Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente.</u> <u>Acuerdo sectorial ganadero.</u> <u>Agua y Clima en la Ecorregión Cafetera.</u> <u>Árboles, poblaciones y ecosistemas.</u> <u>Bosques en la cultura del agua.</u> <u>Bosques para la Estabilidad del Medio Ambiente.</u> <u>Calentamiento global.</u> <u>Cambio climático y gestión ambiental en Caldas.</u> <u>Clima, deforestación y corrupción.</u> <u>Colombia biodiversa: potencialidades y desafíos.</u> <u>Colombia, país de humedales amenazados.</u> <u>Cuatro PNN, patrimonio natural de la Ecorregión Cafetera.</u> <u>Daño a reserva forestal que protege a Manizales.</u> <u>Desarrollo urbano y huella ecológica.</u> <u>Ecorregión Cafetera y Bioturismo.</u> <u>El ocaso del bosque andino y la selva tropical.</u>	<u>El Paisaje Cultural Cafetero: ¿sujeto de derechos?</u> <u>Gobernanza forestal para la ecorregión andina.</u> <u>El Río Grande, su ecosistema y la hidrovía.</u> <u>El llanto de Yuma bajo el cielo de Guarinocito.</u> <u>Gestión y política pública ambiental, para el patrimonio natural en Colombia.</u> <u>La actividad minera solicitada en Planalto, es incompatible con el medio ambiente.</u> <u>La Aurora V.S. la Reserva Río Blanco.</u> <u>La historia del Cerro Sancancio.</u> <u>Lecciones de Río Blanco: más ecosistemas para enfrentar la crisis del agua.</u> <u>Nuestros bosques de niebla en riesgo.</u> <u>Páramos vitales para la Ecorregión Cafetera.</u> <u>Plan de ordenación y manejo ambiental cuenca del río Guarinó: fase prospectiva.</u> <u>Río Blanco: el legado de Conrado Gómez Gómez.</u> <u>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</u> <u>Un SOS por la bambusa guadua.</u>

CAPÍTULO 14

COBERTURAS VEGETALES

14.1 LA VEGETACION Y LAS ESTRUCTURAS EN GEOTECNIA.

Las medidas correctivas de los movimientos en masa y los procesos de erosión se enmarcan en ambientes dinámicos, donde los suelos y las coberturas vegetales evolucionan a partir de las exigencias impuestas por los tratamientos. Los cambios que sufre el suelo por el intemperismo debido al secado excesivo, la humectación, y la ausencia de recursos para la vegetación, como agua, nutrientes, espacio, carencia de materia orgánica, son factores que dificultan el arraigo, el establecimiento y el crecimiento de la vegetación. Además, la respuesta del concreto frente a asentamientos diferenciales inducidos por el secado, por la presión que ejercen las raíces y tallos son causas de alto deterioro de un tratamiento, reduciendo la vida útil de la solución.



Figura 8.1 La Corrección de la quebrada El Silencio incluyó la instalación de diques de consolidación en gaviones y la regeneración natural con especies endémicas de la región. (Carlos E. Escobar P.)

Los proyectos de ingeniería generan impactos ambientales severos y una de las herramientas más comunes y adecuadas para mitigarlos es el establecimiento de la vegetación. Sin embargo, la actividad de vegetalización no se planifica con el detalle necesario, no se realizan los inventarios florísticos que permitan hacer eficiente la solución con vegetación. Este vacío se ve reflejado en los problemas que se presentan en el funcionamiento de las obras, siendo los más comunes: la colmatación de canales y zanjias por acumulación de sedimentos orgánicos de hojarasca, la excesiva impermeabilización de los suelos por la acción de los concretos donde se alcanzan humedades bajas, que no garantizan el arraigo de la vegetación; las exigencias de humedad que sobre el suelo ejercen los árboles y en forma simultánea la interceptación de la lluvia por el follaje de los árboles

localizados en las coronas de taludes escarpados, contribuyen al déficit hídrico del suelo y la ausencia de la cobertura vegetal rastrera, encargada de proteger el suelo del secado excesivo y del impacto de las gotas de lluvia, y el efecto negativo de los sistemas radicales que invaden y destruyen las estructuras en concreto, además del efecto de palanca que ejercen los árboles inclinados, en taludes escarpados.

Los anteriores factores hacen necesario plantear lineamientos para el establecimiento de coberturas vegetales apropiadas para cada tratamiento, donde se incluyen la identificación agrológica de los suelos, la fisiología y morfología de las plantas, la respuesta de las coberturas a condiciones extremas y sus comportamientos en obras de control de erosión, permitiendo prolongar la vida útil de la solución y disminuyendo los costos de mantenimiento.

El establecimiento de las coberturas vegetales en labores de control de la erosión se adelantan labores que incluyen: la identificación de las especies a utilizar existentes en la zona de similitud biótica, la adaptación de los tratamientos a las condiciones del terreno, la vocación de las soluciones, las recomendaciones sobre el manejo de las coberturas vegetales y el mantenimiento mas recomendado de las obras dentro del plan de funcionamiento de las soluciones. La figura 8.1 presenta medidas intensivas de corrección de torrentes complementadas con el establecimiento de coberturas vegetales reguladoras del medio.

El procedimiento a adoptar para escoger las especies vegetales para la recuperación de áreas degradadas es el siguiente:

- Caracterización del material vegetal en las zonas con similitud biótica al área a tratar.
- Evaluación del comportamiento de la vegetación existente; su estado en las zonas geomorfológicas homogéneas, principalmente taludes y laderas, el proceso de recuperación de las áreas vecinas, haciendo énfasis en la respuesta de las coberturas. Es importante considerar variables como la pendiente de los taludes, la respuesta de la vegetación frente a la sequía, la presencia de especies pioneras en el proceso de regeneración natural y la vocación del tratamiento.
- Comparación de la respuesta de las coberturas vegetales inducidas con la regeneración natural, en áreas con similitud biótica y geomorfológica.
- Identificación de los procesos erosivos presentes en las zonas con cobertura vegetal, describiendo sus causas y efectos.
- Identificación de los efectos de las coberturas sobre las obras de drenaje.

Las siguientes son las actividades específicas que se adelantan para la ejecución del análisis:

1. La cartografía del área apoya la localización de las áreas biológicas y climáticas similares y los bancos para cosechar el material vegetal de propagación. Además se identifican variables como la orientación y pendiente de los taludes, la distribución de los drenajes y las características de los suelos. La figura 8.2 presenta un tratamiento de establecimiento de coberturas vegetales en un talud escarpado, conformado por un macizo rocoso.

2. Los recorridos por áreas de similitud ecológica permiten la identificación de los problemas asociados a las coberturas vegetales, a las labores de recuperación y a la acción de las aguas, además de la respuesta de las coberturas vegetales en los procesos de recuperación.
3. Inventario de las especies pioneras útiles para la recuperación de las áreas degradadas.
4. Comparación entre los comportamientos de los diferentes materiales vegetales útiles.
5. Identificación de los procesos erosivos presentes en los taludes cubiertos con especies vegetales.
6. Identificación de los problemas de cubrimiento y estabilidad presentes en los taludes.
7. Selección de las especies útiles para recuperar las áreas degradadas.



Fotografía 8.2. Talud escarpado conformado por un macizo rocoso vegetalizado con la incorporación de materia orgánica, semillas, estolones, protegidos con una tela de fique. (Carlos E. Escobar P.)

8. Adaptación de los tratamientos más adecuados para el establecimiento de coberturas vegetales a utilizar en las soluciones.
9. Análisis y caracterización agrológica y geomorfológica del suelo.
10. Identificación de los posibles efectos negativos de las coberturas vegetales sobre las estructuras de drenaje.
11. Revisión de literatura con experiencias similares.
12. Entorno de los taludes, respecto a las variables socio-económicas y socio-ambientales.
13. Integración de la cobertura a la dinámica del ámbito.

14. Mantenimiento de las obras y plan de manejo de las coberturas.

Las actividades relacionadas permiten la caracterización de las especies de la zona de estudio y su inventario, orientados a identificar la disponibilidad de las plántulas a utilizar en el proyecto y la posible respuesta como coberturas en labores de control de la erosión.

14.2 ESTABLECIMIENTO DE COBERTURAS VEGETALES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN.

Para garantizar el avance de las labores de vegetalización es necesaria una infraestructura mínima para la producción de plántulas, así como la localización de las áreas de acopio del material vegetal vivo (bancos de propagación) y de la materia orgánica; de todos modos, las actividades necesarias para lograr el cubrimiento de un área degradada con cobertura vegetal, se adelantan en forma simultánea con las obras de corrección del problema. La figura 8.3 presenta la revegetalización de taludes conformados por roca con vegetación de la zona.

La elección de las especies vegetales a utilizar en labores de control de erosión, cuentan con criterios tendientes a obtener resultados óptimos: el tipo de cubrimiento esperado, la resistencia de las plántulas a condiciones adversas, la disponibilidad del material en la zona, los cuidados y mantenimientos, las distancias de siembra, la forma de propagación y la dominancia frente a otras especies, son de gran importancia al momento de escoger las coberturas vegetales. La figura 8.3 presenta una estrategia para vegetar taludes de cortes con semillas, suelo orgánico y gallinaza.



Figura 8.3. El tratamiento con suelo orgánico, gallinaza, semillas y tela de fique son estrategias para establecer vegetación en taludes pendientes de roca. (Carlos E. Escobar P.)

El diseño de las obras de ingeniería y el establecimiento de la vegetación están ligados al tipo de solución y a su entorno (zona urbana o zona rural). Cuando se trata de canales, se deben evitar especies rastreras de crecimiento rápido que invaden las estructuras; o la presencia de árboles y plantas con alto aporte de materia orgánica de hojas y tallos; la siembra de árboles junto a obras hidráulicas genera riesgos por presión y estrangulamiento de la estructura por el tallo o por las raíces leñosas que tienden a levantar el concreto.

El entorno se refiere a la seguridad de una comunidad urbana vecina de un tratamiento, o la regulación hidrológica o sobre la calidad y cantidad del agua en un área a tratar y de importancia para labores industriales o para consumo humano.

Es por eso que las especies vegetales no cumplen en todos los casos las mismas funciones. El tipo de cobertura y su sistema de propagación dependen de las condiciones del tratamiento y de la susceptibilidad de los suelos a proteger.

14.2 Tratamientos con vegetación.

Las labores de campo incluyen los análisis agrológicos de los suelos involucrados con el fin de orientar el tipo de apoyo (fertilización) y estimar la posible respuesta de la vegetación instalada. Además se realiza el inventario de las especies vegetales propias de la zona viables ecológicamente, útiles para los tratamientos vegetales; los sitios de acopio del material vegetal, la materia orgánica y las áreas que sirven como bancos de propagación.

14.2.1 Análisis y diseños.

Con los elementos identificados en el trabajo de campo y las necesidades del tipo de cobertura vegetal, se adelanta el diseño de los tratamientos vegetales más apropiados para recuperar las áreas. Estos se deben integrar con los tratamientos de estabilidad de taludes, con las estructuras para el manejo de las aguas las aguas de escorrentía, las líneas de drenaje y los cauces naturales. Pero la vegetación se establece en los sitios donde se requieren labores de mitigación y compensación, sin recurrir a ejecutar obras. La figura 8.3 presenta un tratamiento diseñado para vegetar el talud rocoso.

14.3 SELECCION DE ESPECIES VEGETALES

En la selección de especies para el establecimiento de coberturas vegetales en labores de control de erosión se debe considerar los siguientes criterios:

14.3.1 Sistema radical.

La respuesta de los sistemas radicales de las especies utilizadas para recuperar áreas degradadas está relacionada con las características mecánicas y orgánicas del suelo. Se requieren sistemas radicales leñosos capaces de penetrar en el suelo, logrando a la vez la mayor cobertura lateral posible a efecto de producir el amarre del suelo.

Las comunidades de plantas de especies vegetales diversas poseen sistemas radicales de distintas formas, tamaños y profundidades, todos se complementan, cada uno ejerce una

acción específica y todos forman mallas que refuerzan el suelo con eficiencia. Son comunes los sistemas radicales pivotantes, los fasciculados, los tuberosos, los rastreros y los fibrosos. Estos son propios de cada especie, pero su comportamiento varía con las condiciones físicas del suelo o de la roca, la posición del nivel freático, las estructuras presentes o heredadas de la roca. Es por eso que su comportamiento no es homogéneo ni previsible y puede alcanzar sitios que muchas veces no están dentro de las proyecciones de su establecimiento.

Las zonas degradadas carecen de suelos profundos y por lo general están presentes las estructuras geológicas heredadas. Esto limita el desarrollo vertical de las raíces, estimulando el crecimiento horizontal, de escasa profundidad o siguiendo los planos de diaclasas, alterando con su presencia los estratos más superficiales de la roca.

En las plantaciones se deben dejar suficiente retiro entre los árboles y entre estos y las obras de drenaje, en las franjas resultantes se siembran especies herbáceas encargadas de proteger las estructuras de la acción perturbadora de los sistemas radicales leñosos. Estas especies serán en lo posible, dominantes con el fin de controlar la invasión de las otras especies menos eficientes.

14.3.2 Aporte de materia orgánica

En las labores de control de la erosión son necesarias las obras de drenaje en ambientes forestales, situación que hace que el ambiente donde operan las soluciones sea dinámico y se alteren las condiciones iniciales proyectadas en los diseños. Si bien la hojarasca es aporte orgánico para el suelo, es sedimento orgánico en las estructuras hidráulicas y es un inconveniente por la frecuente colmatación que sufren los canales y el arraigo de las especies vegetales invasoras que disminuyen la eficiencia hidráulica de la estructura.

Una de las formas de remediar el problema de sedimentos orgánicos, es el diseño de las estructuras hidráulicas de drenaje dotadas con secciones y pendientes que estimulen el arrastre de los sedimentos por el flujo de agua; o la siembra de barreras vivas de plantas frondosas como Limoncillo (*Cymbogon citratus* (D.C. ex Nees) Stapf), Citronela



Figura 8.4 Talud protegido con cobertura vegetal nativa de la región y que brinda cubrimiento del 100% al suelo de los agentes del

(*Cymbopogon citratus*), pasto Vetiver (*Vetiveria Box ex.*), paralelas a la estructura, encargadas de filtrar sedimentos orgánicos del agua. En consideración es necesario retirar prudencialmente los árboles caducifolios con abundante aporte de hojas.

14.3.3 Porte de la especie

La altura máxima que alcanza la especie es de gran importancia respecto al alcance que pueda tener la diseminación de su parte orgánica, en relación a la transitabilidad del área, por la facilidad para su mantenimiento o el efecto de palanca sobre los taludes y la presión sobre las obras de drenaje. La figura 8.4 presenta un talud protegido con vegetación de porte rastrero.

Las coberturas vegetales para proteger áreas erosionadas se establecen teniendo en cuenta las características topográficas de la zona, la calidad del suelo o de la roca presentes, la concentración de las aguas de escorrentía en la ladera, el volumen y la dinámica que adquieren los sedimentos, los efectos sobre los movimientos en masa, la fertilidad del suelo y las características bio-climáticas del área.

Las zonas degradadas se sectorizan con base en las variables antes mencionadas con el fin de ubicar en forma adecuada las coberturas vegetales. En las zonas de depósitos coluviales y en los abanicos aluviales se recomienda sembrar especies de porte arbustivo o arbóreo que mejoren agrológicamente el suelo, en colinas y laderas son convenientes las especies de herbáceas, rastrera, rastrojos medios y altos, y en las vecindades de las estructuras de drenaje, especies de porte bajo, con invasión lateral controlada. Para ello es muy útil establecer plantas nobles que se regulan por principios aleopáticos.

14.3.4 Morfología

La morfología de las especies seleccionadas como cobertura vegetal tiene alta incidencia en el comportamiento del agua precipitada en el área. Especies con alta densidad del sistema foliar tienen mayor capacidad de interceptación de la lluvia. Sistemas foliares espigados (ejemplo acúculos de las coníferas) tienen menor área específica en el sistema, lo que reduce su capacidad interceptadora.

La densidad, la forma, la rugosidad y el tamaño de las ramas, de los fustes y de los sistemas foliares son determinantes en la capacidad de la cobertura para aumentar el tiempo de concentración de las aguas en la ladera.

Además, los follajes de tamaños, morfologías y alturas diferentes son altamente eficientes en el control de los elementos del clima como los vientos fuertes, las temperaturas altas y las humedades bajas que acceden al suelo y lo alteran. De ahí la importancia de establecer plantas con follajes diversos para proteger, no solo el suelo sino las estructuras como los pavimentos y los concretos que quedan sometidos a temperaturas altas durante los días calurosos.

14.3.5 Cobertura aérea

Las especies utilizadas en control de erosión deben tener una cobertura de copa amplia, derivada de un sistema foliar denso que se constituya en una barrera contra la precipitación y genere en el suelo un miceoclima que favorezca el establecimiento de microorganismos descomponedores que recuperen el suelo orgánicamente.

Aquí es importante la eficiencia que presentan los sistemas multiestratos que son encargados de regular las aguas en las laderas. Esto asociado a la complejidad de los sistemas radicales que permiten el amarre de los suelos a varias profundidades incrementando la estabilidad del sistema.

La reforestación con especies arbustivas estimula el establecimiento de las coberturas bajas y rastreras encargadas de interceptar las gotas de agua de los árboles, retienen los sedimentos y amarran los suelos, complementando las acciones de la recuperación del área.

La composición multiestrato de las coberturas vegetales constituye una cadena de amortiguación de la precipitación, con alta eficiencia, permite la adecuada disposición de la materia orgánica aportada por el sistema, lo que repercute positivamente en la rapidez de regeneración orgánica del suelo.

La cobertura aérea es nicho para la fauna. Esta a su vez es dinamizadora de la sucesión vegetal al contribuir con la polinización, el transporte y la siembra de vegetación nativa de la zona y estimula la sucesión vegetal.

14.3.6 Exigencias climáticas

Con el fin de garantizar el arraigo de la vegetación se deben tener en cuenta las exigencias climáticas de las especies seleccionadas y estar en armonía con las del sitio donde se realizan las labores de control de erosión. La altura sobre el nivel del mar, la temperatura, la precipitación y la humedad relativa se deben tener en cuenta para que la vegetación sea vigorosa y cumpla su papel con éxito.

14.3.7 Exigencias edáficas

La calidad de los suelos es factor determinante en el desarrollo de las especies vegetales, por tal razón, al seleccionar la cobertura para labores de control de erosión se deben tener

en cuenta las exigencias de nutrientes de las especies de acuerdo a la calidad de los suelos del área a tratar.

Si existe deficiencia en la presencia de nutrientes, se debe adelantar un programa de fertilización acorde a las exigencias de la cobertura seleccionada. En casos en que el suelo presente una avanzada degradación es recomendable utilizar abonos orgánicos compensados que contribuyan a mejorar la estructura física y las propiedades químicas del suelo.

14.3.8 Exigencias hídricas

En la fisiología de las plantas el elemento hídrico es un factor de primer orden, por lo tanto, al seleccionar la cobertura vegetal debe compararse las exigencias de agua de las especies con la existente en el área de tratamiento y considerar además las fluctuaciones que sufre el nivel freático y la humedad del terreno.



Figura 8.5 La corrección del cauce es soprotada en las estructuras de control y apoyada con vegetación rastrera, arbustiva y arbórea que contribuye a conservar el recurso

14.3.9 Sistema de regeneración

La propagación de especies utilizadas para recuperar áreas degradadas debe ser simple y de alta viabilidad, las mejores características las presentan aquellas plantas que aportan gran número de semillas o las que tienen una reproducción vegetativa por tallos rastreros, estolones, rizomas o bulbos, con los cuales se logra el cubrimiento rápido de la zona.

14.3.10 Recuperación de suelos

En las prácticas se utilizan especies pioneras de rápido crecimiento, que aportan materia orgánica, mejorando las condiciones para el establecimiento de las especies definitivas.

La materia orgánica aportada por las especies herbáceas y pioneras se descompone rápidamente y favorece el aumento de microorganismos en el suelo y restituyen un eslabón básico en la cadena alimenticia. Esto conduce a una rápida activación de la dinámica sucesional de la cobertura y al equilibrio ecológico en el área recuperada.

De ahí la necesidad de establecer coberturas vegetales de follajes densos, con sistemas radicales fibroso y fasciculados que al descomponerse contribuye a la formación del suelo como una estructura edafológica eficiente.

14.3.11 Influencia sobre obras de drenaje

El éxito de los tratamientos de control de erosión está supeditado a la simbiosis que existe entre las coberturas vegetales y a su evolución en ambientes con las obras de drenaje. Su acción es complementaria y no debe existir presión entre ellas. La figura 8.5 presenta un tratamiento integral de un cauce que abastece agua para consumo humano.

El establecimiento de coberturas vegetales debe considerar las presiones que se pueden dar sobre las estructuras en concreto: la presión que ejercen los sistemas radicales sobre las obras, la acción de palanca que ejercen los árboles sobre taludes de pendientes fuertes, el aporte de sedimentos orgánicos y la presencia de especies vegetales sobre las estructuras de drenaje son entre otras, muy frecuentes.

De ahí la importancia de seleccionar con detalle la cantidad, la frecuencia, la sección y las pendientes de las estructuras hidráulicas, así como las prácticas de mantenimiento como podas, manejos silviculturales a plantas de porte medio y alto y las labores de recuperación de áreas degradadas con el material vegetal extraído de las rondas de mantenimiento de obras.

14.3.12 Periodicidad en el mantenimiento

El espacio de tiempo que requiera una cobertura vegetal para regenerarse, extenderse y desarrollarse hasta el punto de convertirse en un obstáculo para las obras de drenaje es un factor de amplia repercusión económica y de eficiencia de las obras.

14.3.13 Agresividad y dominancia

Para la elección de las coberturas vegetales en obras de control de erosión se tiene en cuenta la agresividad de las especies con el fin de poder estimar el tiempo el cubrimiento óptimo de la zona; la dominancia existente entre las especies permite el control de las menos eficientes con el fin de proteger las obras de drenaje, apoyando su funcionamiento y contribuyendo a la regulación de los caudales y de los sedimentos orgánicos.

14.3.14 Usos antrópicos

Al seleccionar la cobertura vegetal es determinante considerar el uso final que tendrá el área sometida a tratamiento. Las condiciones de estabilidad que se esperan obtener con la solución determinan, en muchos casos, el uso potencial del terreno.

14.3.15 Palatinidad a los ganados

Uno de los principales agentes de daño en áreas con tratamiento de coberturas vegetales es la presencia de ganados (equinos, vacunos, caprinos, otros). Con el fin de evitar la presencia de estos animales en la zona debe considerarse, como criterio de selección de

cobertura, la palatinidad de las especies a los ganados, de esta forma se evita que el área sea atractiva para el pastoreo.

14.4 CONCEPTOS DE BIOINGENIERIA PARA EL CONTROL DE LA EROSION.

14.4.1 Las bioestructuras del suelo

Se definen como estructuras enmarcadas en ambientes donde se establece vegetación. Son especies vegetales dotadas de sistemas radicales leñosos pivotantes y fasciculados, y fibrosos que forman mallas que refuerzan el suelo.

Muchos problemas de inestabilidad del suelo son atendidos con soluciones de bioingeniería del suelo. Estas soluciones además de económicas, tienen menor impacto ambiental, los elementos naturales se autorreparan y los controles sobre los elementos del clima como vientos fuertes, temperaturas altas y humedades relativas bajas son controlados y con ello se conserva el suelo plástico con las condiciones de humedad que lo hacen eficiente y estable.

14.4.2 Influencia hidro mecánica de la vegetación

14.4.2.1 Prevención de la erosión.

Usualmente el establecimiento de las coberturas vegetales previene simultáneamente la erosión superficial provocada por el viento y las lluvias repentinas.

La vegetación herbácea y la arbórea, presenta los siguientes efectos positivos sobre la regulación de caudales de aguas pluviales y de escorrentía:

- **Intercepción:** El follaje reduce el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, previene su compactación aumenta el tiempo de concentración de los caudales en la cuenca.
- **Amortiguación:** El follaje reduce la velocidad del viento y es barrera evitando altas velocidades a nivel de suelo. Además, mitiga las temperaturas altas que acceden al suelo y la hojarasca es una barrera que permite conservar la humedad del suelo, haciéndolo eficiente.
- **Fijación del suelo:** Las raíces ligan las partículas del suelo, mientras los residuos vegetales superficiales filtran los sedimentos del agua. Simultáneamente se crean las condiciones para la deposición de los sedimentos por la reducción de la velocidad de las aguas de escorrentía.
- **Retardación:** Las hojas, los tallos y los residuos vegetales incrementan la rugosidad del suelo, por lo tanto, disminuyen la velocidad del agua de escorrentía evitando que se presente la erosión del suelo. El follaje brinda mayor aspereza quitándole velocidad al viento.

- **Infiltración:** Los sistemas radicales contribuyen a mejorar la porosidad del suelo y por lo tanto la permeabilidad. El cúmulo de obtáculos por los tallos, las raíces y la hojarasca son disipadores de la energía del agua de escorrentía, obligan mayor recorrido de las aguas superficiales y con ello la infiltración.
- **Evapotranspiración:** Las plantas toman parte del agua del suelo, retardando su saturación y participando decididamente en el ciclo hidrológico.

14.4.2.2 Prevención de movimientos de masa.

Las plantas leñosas (árboles y arbustos) previenen los movimientos en masa que involucran el suelo, particularmente de poca profundidad, mediante el incremento de la resistencia a la cizalladura.

La vegetación influye en el equilibrio de fuerzas actuantes de los taludes, así:

- **Efecto de las raíces:** Mecánicamente asumen el esfuerzo de cizalladura del suelo y lo transforma en tensión, actuando como refuerzo.
- **Control de la humedad:** La evapotranspiración, la interceptación del follaje y la capa orgánica aportada controlan la humedad en el suelo.
- **Efecto de contrafuerte y arco:** Los tallos anclados y embebidos funcionan como tales, para contrarrestar la cizalladura.
- **Sobrecarga:** La vegetación, aunque implica un sobrepeso, posee un componente perpendicular al talud que contribuye a evitar el deslizamiento.

Sin embargo, existen algunos factores que podrían disminuir el efecto estabilizante de la vegetación arbórea como, por ejemplo:

- **Apalancamiento:** La tendencia de las raíces es la de servir de cuña sobre grietas, fisuras y canales del suelo, contribuyendo a su inestabilidad.
- **Arrastre del viento:** Cuando este es fuerte, puede arrancar los árboles y lanzarlos ladera abajo.
- **Presión sobre las obras hidráulicas:** ejercida por las raíces y los tallos de los árboles cercanos a las estructuras ó por el aporte de hojarasca y residuos orgánicos que taponan las estructuras hidráulicas.

Imitaciones artificiales de las propiedades biotécnicas son las "estructuras de tierra armada" y las "pilas de raíces reticuladas" (colocación de un arreglo de pilas en concreto entrecruzadas, fundidas "in situ" de pequeño diámetro).

En desventaja de estos métodos radica en la rápida corrosión y deterioro; puesto que las raíces tienen la propiedad de auto-repararse y regenerarse.

Para lograr la recuperación integral de las áreas degradadas, se adelantan medidas intensivas encargadas de corregir, en primera instancia, los problemas erosivos activos logrando el equilibrio necesario para el posterior arraigo y establecimiento de la cobertura vegetal.

14.5 APOYO A TRATAMIENTOS CON VEGETACIÓN.

La recuperación de taludes y laderas desprovistos de vegetación se logra mediante prácticas para el establecimiento de vegetación, utilizando plantas de tipo rastrero y de rápido crecimiento con el apoyo de materia orgánica y fertilizantes a fin de lograr el rápido cubrimiento del área.

Los tratamientos están conformados por varios elementos: unos, como las estacas o mallas, garantizan la seguridad del tratamiento en los taludes escarpados; otros, como el abono verde son aporte de materia orgánica, protegen el material vegetal vivo y el suelo de las variaciones climáticas, garantizando la humedad suficiente para la germinación, el arraigo y el establecimiento de las plantas, y los últimos, el material vegetal vivo, es la fuente que genera las plantas encargadas de proteger definitivamente el talud, cuando estas se establecen.

Los tratamientos vegetativos requieren de una infraestructura que garantice la producción del material vegetal orgánico de abonos verdes y el material vegetal vivo como estacas de palos nacederos, estolones y semillas, según las necesidades. A continuación, se hace la relación de la infraestructura y los tratamientos para el establecimiento de vegetación.

14.5.1 Banco de propagación.



Figura 14.6 El material vegetal es extraído de individuos del mismo cauce. (Carlos E. Escobar P.)

Lugar que se establece con el propósito de obtener material vegetal vivo como tallos, rizomas, estolones o semillas útiles para la propagación vegetativa. Este material es cosechado y transportado al sitio de siembra.

Los bancos de propagación son útiles cuando se requieren plantas de reproducción por rizomas, estolones y semillas. Se debe escoger un terreno de excelentes condiciones de textura y drenaje (suelo franco arenoso) y con presencia de elementos mayores y menores. Las deficiencias deben ser suplidas con fertilizante.

Los bancos de propagación para labores de revegetalización en proyectos de ingeniería, se localizan previamente, aprovechando las áreas cubiertas por las especies a utilizar las cuales se explotan por el método de entresaca, evitando así que se agote el recurso. La figura 8.6 presenta un ejemplo de una estaca de un árbol nacedero sembrada en un margen de un cauce para reforzar la vegetación del bosque de galería. Esta siembra aprovecha elementos que se reproducen por métodos asexuales cosechados de árboles de la cuenca.

14.5.2 Suministro de material vegetal.

Esta actividad comprende la obtención de semillas, rizomas, estolones y estacas de palos nacederos, de especies rasantes y arbustivas, elementos esenciales para adelantar las prácticas y labores de revegetalización de áreas degradadas y en la estimulación de zonas que necesitan mayor cubrimiento vegetal.

14.5.3 Suministro de materia orgánica.

Esta actividad comprende la explotación de la materia orgánica, de suelo orgánico, de abonos verdes y de compost, con el fin de mejorar los suelos orgánicamente, obtener mejores condiciones de humedad y nutrientes para las plantas. Además, se logra la protección del suelo del secado por las temperaturas altas y los vientos y se logra la respuesta rápida de las coberturas vegetales en el tratamiento.

Las labores de apoyo en viveros y los suministros de material vegetal como semillas, estolones, rizomas, plántulas y materia orgánica, son el soporte para la ejecución de los tratamientos los cuales se explican a continuación.

14.6 TRATAMIENTOS CON VEGETACIÓN

Son las distintas prácticas utilizadas para el establecimiento de coberturas vegetales en taludes y laderas.

14.6.1 Plantaciones.

La presencia de árboles y arbustos constituyen el último eslabón de la cadena vegetacional en la recuperación de los suelos. Por eso se recomienda solo arborizar las áreas que presenten coberturas de especies rastreras o rastros, encargadas de amortiguar el impacto de las gotas y proteger el suelo. Los árboles no son recomendados como plantas pioneras para la recuperación de áreas degradadas, porque no brindan suficiente protección al suelo debido al impacto de las gotas que caen por escurrimiento y la carencia de los obstáculos suficientes para la disipación de las aguas de escorrentía. Sin embargo, son pilares

fundamentales para la regulación de aguas y el control de los elementos del clima que acceden al suelo.

Se dan las recomendaciones para el establecimiento en el sitio definitivo, de las plántulas obtenidas en el vivero o suministradas. Sistema de siembra: se recomienda ubicar los árboles entre sí con espaciamiento regular y suficientemente denso; los sistemas de siembra son: el cuadro y tresbolillo. El sistema en tresbolillo tiene la ventaja con respecto al sistema al cuadro de permitir la plantación de aproximadamente el 15% más de árboles en una misma superficie y asegura una mayor protección del suelo en pendientes fuertes.

Distancia de siembra: las distancias de siembra de los árboles están marcadas en principio por el desarrollo de los árboles, su crecimiento y de los objetivos generales que pueden ser: cobertura de suelos, protección de cuencas o ensayos entre otros. También depende de las especies ya que cada una en particular tiene características que acreditan tratamientos diferentes y de las condiciones del sitio como la pendiente del terreno. De todos modos, las distancias deben ser suficientemente amplias para permitir el ingreso de luz a los estratos arbustivos y herbáceos, lográndose así un follaje denso que proteja integralmente el suelo.

La tabla No 8.1 presenta el número de árboles a plantar por hectárea según diferentes espaciamientos.

Tabla 14.1. Cantidad de árboles por hectárea

Espaciamiento entre árboles metros	Árboles por hectárea	
	Cuadro	Tresbolillo
2,0 x 2,0	2500	2888
2,5 x 2,5	1600	1848
3,0 x 3,0	1111	1283
3,5 x 3,5	816	943
4,0 x 4,0	625	722
5,0 x 5,0	400	462
6,0 x 6,0	278	321
7,0 x 7,0	204	236
8,0 x 8,0	156	180
9,0 x 9,0	123	142
10,0 x 10,0	100	116

Preparación del suelo: la preparación del suelo depende de las condiciones particulares de cada sitio, consiste en la eliminación de la vegetación existente por métodos manuales (machete) o de medios mecánicos (motosierra, tractores), con el objeto de evitar la competencia de luz y nutrientes a los árboles que se van a plantar.

Disposición de los residuos vegetales: todos los materiales de la preparación del terreno deberán colocarse en sitios seleccionados, de tal manera que no interfieran los trabajos de plantación. Estos se acumulan y sirven como materia orgánica para recuperación de otras áreas degradadas.

Trazado: se ejecuta en el campo directamente con el apoyo de cintas o cuerdas marcadas con el propósito de que las distancias escogidas queden uniformemente distribuidas en el terreno, y en cada sitio se puede dejar una estaca a manera de marcación. Se procede al plateo, que consiste en limpiar de vegetación un área circular con diámetro de un metro y en el centro del plato se realiza un hoyo, de tamaño tal, que permita la colocación del árbol (generalmente 30 x 30 x 30 cms).

Plantación: la siembra en lo posible debe coincidir con la época de lluvias. Este trabajo consiste en retirar la bolsa, evitando desmoronar el pan de tierra y se coloca el árbol en el hoyo rellenándolo con la tierra que se extrajo es para afirmarlo y prensándolo para evitar espacios vacíos. Transcurridos 15 días de la siembra se fertiliza con productos que contengan los nutrientes necesarios para el tipo de suelo que se reforesta. Al mes se practica la resiembra reemplazando las plántulas muertas o en mal estado y su fertilización.

Las labores de plantación se realizan con plántulas con portes de más de 0,30 m con el fin de lograr un tratamiento exitoso.

14.6.2 Empradizado.

Los empradizados se utilizan para proteger áreas de taludes y laderas de la erosión y simultáneamente contribuyen a mejorar el paisaje, cuando se ejecuta un tratamiento en zonas urbanas. Se acostumbra utilizar el procedimiento de implantación de cespiones. La figura 8.7 presenta los esquemas donde se identifican los elementos de una empradización de un talud.

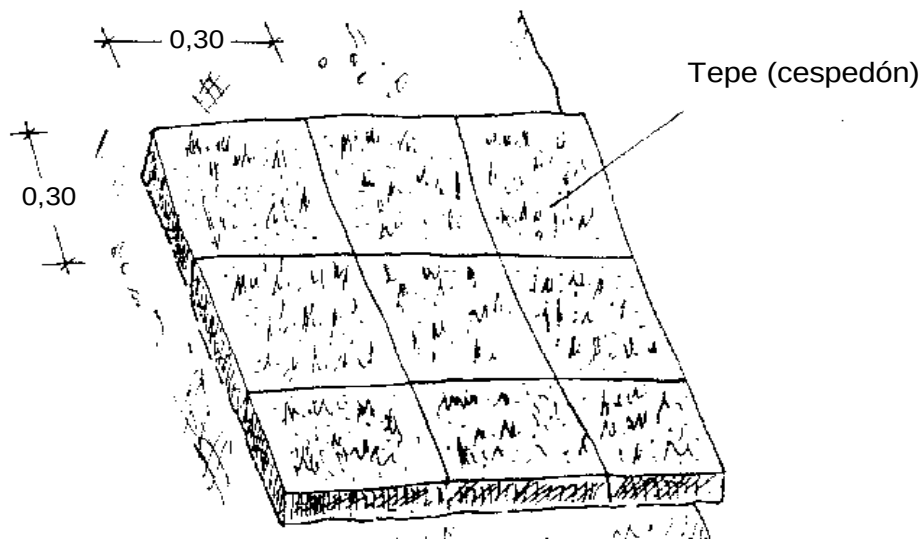


Figura 14.7 Empradizado con tepes o cespiones.

Materiales y control de calidad:

Cespedones. Se recomienda que los cespiones sean de una sola clase de pasto; deberán provenir de campos sanos, libres de malezas y espartillos. El cespión cuenta con una capa de tierra vegetal no menor de cinco centímetros de espesor.

Los fertilizantes deben contener nitrógeno, potasio y ácido fosfórico en proporciones adecuadas. Se podrá usar estiércol muy desmenuzado y pulverizado.

Control de calidad. En las implantaciones de cespiones se debe lograr un cubrimiento del 100% del área tratada.

El material será ecológicamente viable para el trabajo, con el vigor suficiente para una propagación rápida, adaptabilidad al medio y con la suficiente madurez fisiológica para garantizar su retoño.

Aspectos de construcción:

Se arrancan los cespiones en cuadros de 30 x 30 centímetros, cuidando de evitar los daños en las raíces. Los cespiones se implantan directamente sobre el suelo. Cuando las condiciones de pendiente así lo exigen, se utilizan estacas de guadua u otro material adecuado para fijar los cespiones al talud.

14.6.3 Cubrimiento de laderas con abonos verdes.

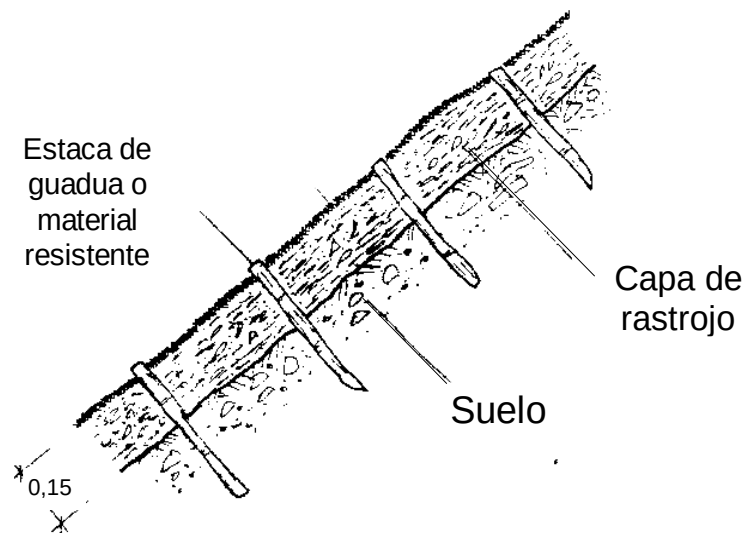


Figura 14.8 Revegetalización con abonos verdes

Algunas zonas degradadas se aíslan a la acción y presión del hombre y animales, induciendo la aparición de cobertura vegetal autóctona, utilizando estacas como elementos de soporte para los abonos verdes conformados por semillas, estolones, tallos y rizomas recolectados en la región. La figura 8.8 es un esquema del tratamiento con el establecimiento de vegetación con abonos verdes. Las estacas fijan el tratamiento al talud pendiente, el abono verde con semillas, tallos, estolones y rizomas es el elemento que provee el material orgánico y los elementos vivos que formarán las plantas.

Procedimiento:

Se clavan estacas de 30 centímetros de longitud, distanciadas 30 centímetros, colocadas a tres bolillos, posteriormente se cubre el suelo con una capa de abonos verdes dotados de semillas, estolones, rizomas y tallos, de 10 centímetros de espesor. El abono verde protege el talud de la degradación por intemperismo y de la erosión, además aporta la materia orgánica necesaria para soportar el arraigo y el establecimiento del material vegetal vivo y conservándolo estable en el sitio de tratamiento.

14.6.4 Cubrimiento de taludes con tela biodegradable.

Es el establecimiento de cobertura vegetal correspondiente a estratos rasante y arbustivo en sitios donde el suelo es rocoso, de pendientes fuertes, utilizando telas biodegradables de fique o coco, estacas de 30 centímetros de largo, abnos verdes dotados de, semillas, tallos nacederso y estolones. El material vegetal vivo (semillas, tallos y estolones), es ecológicamente viable para el trabajo, con el vigor suficiente para una propagación rápida, adaptabilidad al medio y con la suficiente madurez fisiológica para garantizar el retoño.

Procedimiento:

Se limpia el talud del material suelto, se clavan las estacas distanciadas 30 centímetros al triángulo (aproximadamente 11 estacas por m^2), posteriormente se cubre el suelo con una capa de abnos verdes de 7 centímetros de espesor; sobre ésta se riegan semillas al voleo, de diferentes especies; se coloca otra capa de abonos verdes hasta conseguir un espesor de 12 centímetros. Por último, se cubre con tela biodegradable y asegurándolos con estacas.

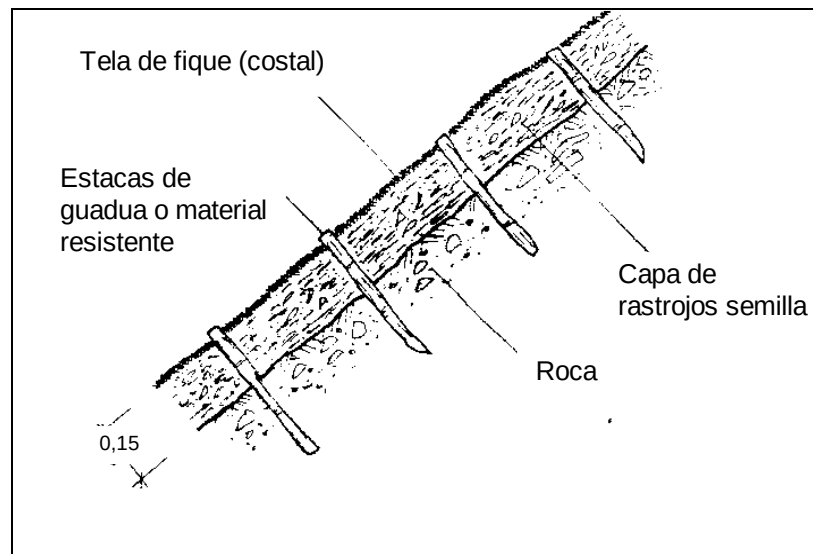


Figura 14.9 Revegetalización con tela biodegradable

14.6.5 Barreras vivas.

Es la siembra en línea de tallos, plantas, arbustos y árboles de porte bajo y medio. Se utilizan plantas perennes de crecimiento denso que en corto tiempo formen un obstáculo efectivo. El material vegetal será ecológicamente viable para el trabajo, con el vigor suficiente para la una propagación rápida, adaptabilidad al medio y con la suficiente madurez fisiológica para garantizar su retoño. La figura 8.10 presenta las alternativas para establecer barreras vivas

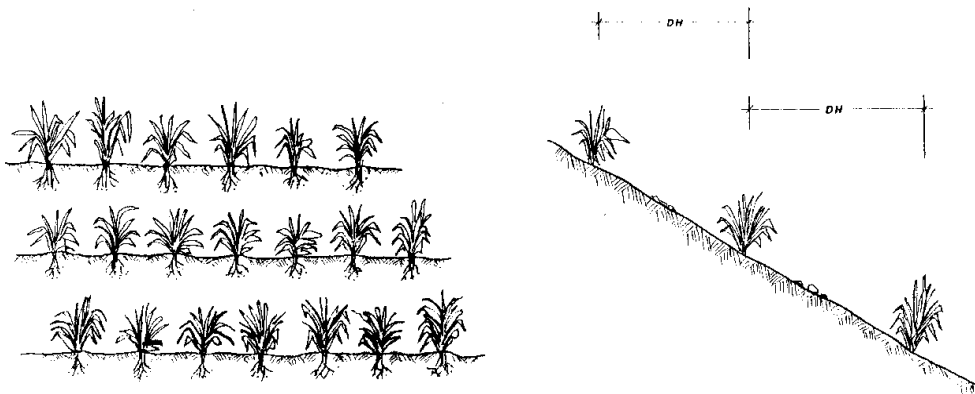


Figura 14.10a. Barreras vivas con limoncillo

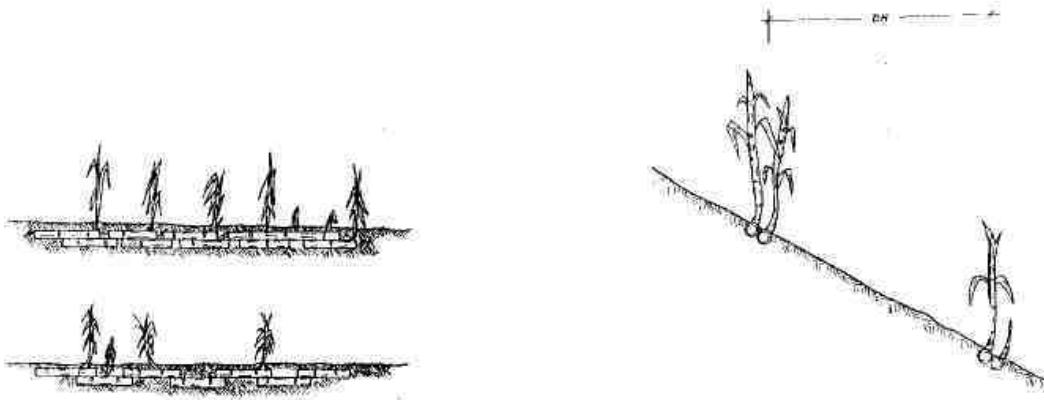


Figura 14.10b Barreras vivas con cañas

Las barreras pueden ser sencillas, dobles o triples y son utilizadas para reducir la velocidad del agua de escorrentía o del viento, para atrapar sedimentos o para fijar las orillas de cauces torrenciales de sección amplia (tramos de sedimentación), conformados por la acumulación de sedimentos.

Procedimiento:

Se siembran sobre alineamientos preestablecidos, con material vegetal distanciados cada 20 centímetros a 3.00 metros entre barreras. La distancia entre barreras depende de la pendiente del terreno. Las especies más utilizadas son: limoncillo (*Cymbopogon citratus*); caña brava (*Gyneryum sagittatum*); chusque (*Chusquea* sp); bambú (*bambusa* sp); nacedero (*Trichartera gigantea*); guadua (*guadua* sp), entre otras.

14.6.6 Trinchos para laderas.

Son barreras transversales construidas en una ladera con el fin de fijar materiales y suelo para lograr el ambiente apropiado para el establecimiento de cobertura vegetal. En laderas se aconseja la utilización de trinchos de pared simple, como se presenta en la figura 8.11.

14.6.6.1 Trinchos en madera.

El trincho es una estructura de carácter temporal, conformada por elementos horizontales que pueden ser de guadua o madera rolliza los cuales son soportados por elementos verticales (se pueden colocar palos nacederos), con diámetros iguales a los horizontales previamente hincados al terreno, como mínimo a 80 centímetros de profundidad, y con una altura de 40 centímetros por encima del nivel del terreno, separados entre si un metro, siguiendo las curvas de nivel. Los elementos horizontales se amarran con alambre galvanizado de 3 milímetros de diámetro y tensado con grapas. La figura 3.12 presenta un el perfil de una ladera tratada con trinchos en guadua.



Figura 8.11 Trinchos en guadua para confinar un antiguo cauce y apoyar labores de establecimiento de vegetación. (Carlos E. Escobar P.)

Procedimiento:

Los trabajos necesarios para la construcción de los trinchos consisten en la nivelación del terreno con el fin de construir un trincho regular, se realizan los hoyados que permitan hincar los elementos verticales los cuales cuentan con un relleno alrededor bien apisonado. Posteriormente se colocan uno a uno los elementos horizontales, asegurándolos a los verticales con alambre galvanizado.

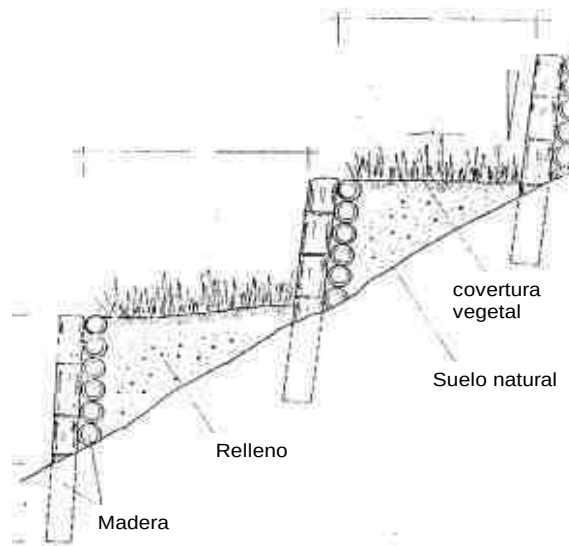


Figura 8.12 Ladera tratada con trinchos en guadua

Paralelo a la construcción se realiza el relleno, bien apisonado en capas horizontales, el cual debe quedar terminado con un desnivel por la línea de máxima pendiente de tal forma que permita el rápido escurrimiento del agua de exceso. Por último, se establece vegetación rastrera para controlar la erosión y proteger el suelo

14.6.6.2 Trinchos en esterilla.

Es un tratamiento en forma de gradas, se utiliza como soporte a tratamientos vegetativos en escarpes de suelos estables e inertes, dejados por deslizamientos o por cortes. Son estructuras pequeñas encargadas de retener en forma temporal, suelos y material vegetal para lograr el establecimiento definitivo de las coberturas vegetales o para proteger obras de drenaje a media ladera. La figura 8.13 es un esquema de los trinchos en esterilla.

Procedimiento:

Los trinchos en esterilla consisten en barreras transversales formadas con esterilla de guadua de 20 a 30 centímetros de altura soportadas a la ladera por macanas hincadas 70 centímetros en el terreno, amarradas con alambre negro, distanciadas 60 centímetros entre si. Posterior se ejecuta el relleno, con tierra de la excavación, dejada por el perfilado y el trincho.

Para lograr la continuidad del trincho se traslapan las esterillas, cuidando de colocar una macana en cada extremo del traslapo. Por último, se realiza el relleno hasta conseguir una terraza convenientemente nivelada para permitir el escurrimiento de las aguas de

escorrentía. La berma formada por el trincho se cubre con vegetación apropiada, especialmente especies de gramíneas y leguminosas.

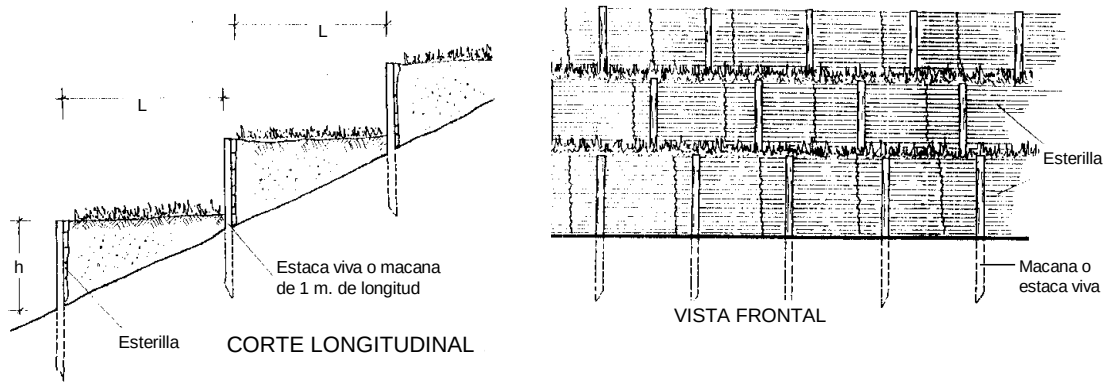


Figura 14.13 Trinchos en esterilla

14.6.6.3 Trinchos en caña brava.

Los trinchos en cañabrava son bioestructuras que se utilizan como soporte a tratamientos vegetativos en escarpes dejados por deslizamientos o cortes de suelos estables e infértiles. Son estructuras transversales pequeñas encargadas de retener en forma temporal, suelos y material vegetal y lograr el establecimiento, de la cañabrava y de coberturas vegetales nativas. Se utilizan además para fijar las orillas en tramos de cauces torrenciales amplios, en proceso de sedimentación o para recuperar áreas degradadas de escarpes, donde no existen estructuras de drenaje como acequias o canales. Figura 8.14.

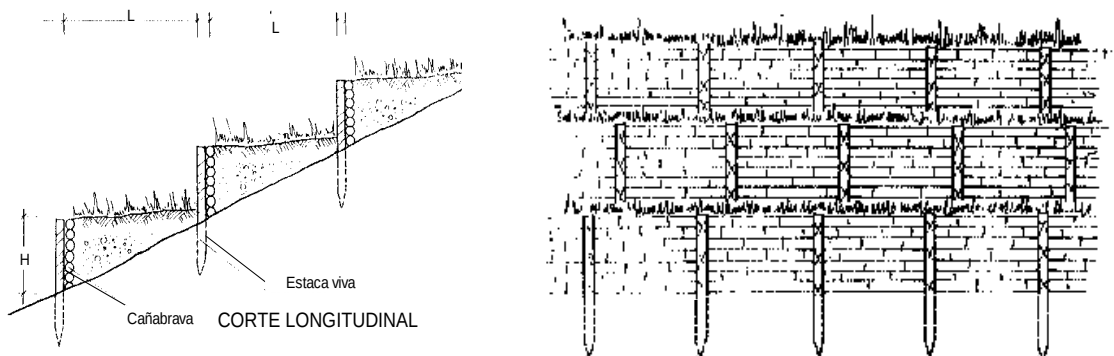


Figura 8.14 Trinchos en cañabrava

Procedimiento:

El tratamiento en forma de gradas, está conformado por macanas o estacas vivas de un metro de largo, las cuales se hincan distanciadas cada 60 centímetros. Posteriormente se hace un tendido de tallos de cañabrava, cortados en trozos de 3.00 metros, con la suficiente madurez fisiológica para garantizar su retoño, los cuales van asegurados a las estacas con alambre negro No 16 hasta conseguir una altura de 30 centímetros, finalmente se realiza el relleno detrás del trincho hasta nivelar la grada.

Se nivela el terreno y se hincan las macanas hasta conseguir alturas de 30 centímetros. Se extienden los tallos en cañabrava hasta alcanzar la altura requerida. Por último, se realiza el relleno hasta lograr la terraza nivelada. Sobre esta se siembran especies de gramíneas y leguminosas como refuerzo al tratamiento.

14.6.7 Senderos.

Son los caminos de acceso a las obras dejados después de la ejecución de un proyecto de control de erosión y de labores para el control de la erosión. Los senderos, coinciden con los utilizados por las comunidades o aquellos dejados después de la ejecución de las obras. Se utilizan para realizar las revisiones y el mantenimiento de las obras de control de la erosión.

La ausencia de los senderos es causa del abandono de las estructuras y su destrucción por falta de revisiones, los mantenimientos y las reparaciones oportunas.

ENLACES U.N.:

<i>Árboles, poblaciones y ecosistemas.</i>	<i>Cultura del agua en los ríos urbanos.</i>	<i>Las cuentas del agua.</i>
<i>Bosques en la cultura del agua.</i>	<i>Desarrollo urbano y huella ecológica.</i>	<i>Manizales, ¿ciudad del agua?</i>
<i>Clima: las heladas.</i>	<i>El agua en Colombia: glosas.</i>	<i>Nuestras aguas subterráneas.</i>
<i>Clima, deforestación y corrupción.</i>	<i>El agua en la biorregión caldense.</i>	<i>Nuestro frágil patrimonio hídrico.</i>
<i>Colombia biodiversa: potencialidades y desafíos.</i>	<i>Degradación del hábitat y gestión ambiental.</i>	<i>Nuestros bosques de niebla en riesgo.</i>
<i>Colombia, país de humedales amenazados.</i>	<i>El ocaso del bosque andino y la selva tropical.</i>	<i>Páramos vitales para la Ecorregión Cafetera.</i>
<i>Colombia tropical, ¿y el agua qué?</i>	<i>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</i>	<i>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</i>
<i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i>	<i>La economía azul en la esfera de la producción.</i>	<i>Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero.</i>
		<i>Vida y desarrollo para el territorio del Atrato.</i>

LECTURA 14: ¿QUÉ HACER CON LA VÍA AL LLANO?

RESUMEN: A pesar de los avances, la comunicación de los llanos con el centro del país sigue estando seriamente limitada. Reconociendo la fragilidad y complejidad extremas del macizo rocoso, y la vulnerabilidad del territorio frente a la amenaza relacionada con el cambio climático como consecuencia de los usos conflictivos del suelo, se han presentado problemas de ingeniería que no tienen justificación. La estabilidad del corredor vial dependerá del plan de acción que se elabore así el riesgo y la incertidumbre sean inevitables en un proyecto como este, en el que el cierre ya ha producido pérdidas superiores a los dos billones de pesos, razón por la cual los diseños de ingeniería y la respuesta gubernamental ante el desastre deben estar a la altura del desafío.

Cerrada durante varios meses

A pesar de los avances, la comunicación de los llanos con el centro del país sigue estando seriamente limitada.

La vía que comunica a Villavicencio con Bogotá fue habilitada la semana pasada durante algunas horas diarias, para vehículos de carga y de pasajeros. Sin embargo, el viernes tuvo que cerrarse debido a nuevos derrumbes.

La carretera hace parte del corredor transversal Puerto Carreño-Buenaventura y ha estado inhabilitada desde el pasado 15 de junio. Según la gobernadora del Meta, Marcela Amaya García, el cierre ya ha producido pérdidas superiores a los dos billones de pesos, y deja graves consecuencias para los llaneros.

La ruta fue concesionada a Coviandes y Coviandina para construir una autopista de 85,6 kilómetros en tres tramos. En condiciones normales, la carretera tiene un tráfico promedio de 11 mil vehículos

por día y tres peajes: Boquerón, Naranjal y Pipara, que estarán hasta 2054. Debido a la fluctuación impredecible de los factores ambientales y a los desafíos técnicos, no parece haber luz verde para terminar la obra en 2023.



Imagen: Mapas de la Vía al Llano, en El Espectador (Adaptada) y en ANI.

Algo de historia

Cuenta la historia que el antiguo camino de herradura que unía a Villavicencio con Bogotá se recorría en dos o tres días debido a las dificultades topográficas y la inestabilidad de las laderas. Luego, el auge económico de Villavicencio y la creciente demanda de bienes agropecuarios en la capital del país llevó a que entre 1924 y 1936 se convirtiera en un camino carretable.

Pero en el trópico andino las laderas son frágiles y puede ser afectarlas por cualquier obra de desarrollo longitudinal mal planificada. Además, el modelado, la ocupación conflictiva del territorio en los márgenes de la vía y la deforestación empeoran la situación. Esto fue lo que ocurrió con la antigua carretera.

En 1974, un derrumbe en la vía cobró cientos de vidas y causó pérdidas económicas significativas. El suceso se conoce como la tragedia de Quebrada Blanca y fue lo que desencadenó la construcción del actual túnel de Quebrada Blanca, una rectificación y varias obras complementarias destinadas a reducir el riesgo y el tiempo de viaje.

Para lidiar con la demanda de conectividad vial entre Bogotá y los Llanos Orientales, desde 1994 se decidió construir la "nueva vía al Llano", que se recorrería en 90 minutos a un costo de 79 mil millones de pesos. En 2011, cuando ya el nivel de servicio de la vía se hacía imposible, la Concesionaria Coviandes empezó la construcción de la doble calzada, gracias a una inversión a seis años que superaba los 1,8 billones de pesos.

Según la ANI, luego de las modificaciones, el contrato sumaba 4,8 billones iniciando el 2018. Pero el diseño —que contempla la excavación de 25 túneles y 69 puentes entre otras obras viales como galerías para una operación fluida, la instalación de cientos de miles de metros cuadrados de malla

metálica sobre los taludes, túneles falsos y obras adicionales preventivas— tendría un costo final de 8 billones de pesos.

¿Problemas de diseño o naturaleza indócil?

En la construcción de la vía al Llano se han presentado problemas de ingeniería que no tienen justificación. Es el caso de la caída del puente Chirajara en enero 15 del año 2018. Se desplomó uno de los dos pilones terminados pocos meses antes de la inauguración de la obra, dejando un saldo de nueve trabajadores muertos.

El incidente mostró la falta de ética traducida en la absoluta precariedad del diseño que soportaba esta pieza fundamental de un viaducto galardonado con el Premio Nacional de Ingeniería en 2010. Este es el tipo de cosas que no deberían ocurrir.

Pero otra cosa son los riesgos inevitables que impone la naturaleza, que además dependen del tipo de obra y las características del terreno. Mientras en las obras subterráneas la incertidumbre suele ser del 30 por ciento o más, en las estructuras de concreto y similares ésta se reduce al 6 o 4 por ciento.

Por ejemplo, los túneles tienen un alto riesgo porque su estabilidad está asociada, entre otras cosas, con cambios erráticos en las discontinuidades y variaciones litológicas del macizo rocoso. Al contrario, una obra de concreto representa un riesgo mínimo dado que depende de elementos que se conocen y pueden ser controlados, como la cuantía y configuración del acero y resistencia de los agregados o la geometría y comportamiento dinámico de las estructuras.

Para entender el riesgo también hay que tener en cuenta el clima. Por supuesto es necesario mejorar los pronósticos que permiten tomar medidas de precaución y así salvar vidas y proteger la economía. Esto va a la par de los sistemas de alerta. Pero aquí es necesario tener en cuenta que la información del clima revela probabilidades y no predicciones, por lo que siempre hay algún grado de incertidumbre.



Imagen: Las frágiles laderas de la Vía Bogotá-Villavicencio – Fotos W Radio y Coviandes

Todos estos son factores que podrían explicar la complejidad del problema de la vía al Llano:

- La incertidumbre consustancial del macizo rocoso relacionada con la geología;
- La ocurrencia de eventos climáticos extremos dados los usos conflictivos del suelo;

- Las decisiones técnicas y sus consecuencias —como el posible impacto del uso de dinamita para la construcción en un macizo altamente tectonizado—;
- Y las cuestiones administrativas relacionadas con obras inconclusas.

¿Cómo lidiar con el riesgo?

Para determinar la viabilidad de una obra como la vía al Llano, el diseño ingenieril debe contemplar e intentar calcular el riesgo relacionado con los factores ambientales. Para esto existen fórmulas (ver tabla) que calculan el riesgo de una amenaza —como un evento climático extremo— sobre la estabilidad de una obra teniendo en cuenta su vida útil, que en este caso debería ser de un siglo.

Valores de R		n= Vida útil de una obra						
Tr= Período de retorno de la amenaza El Riesgo R está dado por: $R=1-(1-1/Tr)^n$	Años	10	25	50	100	250	500	1000
	10	0,65	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	25	0,34	0,64	0,87	0,98	1,00	1,00	1,00
	50	0,18	0,40	0,64	0,87	0,99	1,00	1,00
	100	0,10	0,22	0,39	0,63	0,92	0,99	1,00
	250	0,04	0,10	0,18	0,33	0,63	0,87	0,98
	500	0,02	0,05	0,10	0,18	0,39	0,63	0,86
	1000	0,01	0,02	0,05	0,10	0,22	0,39	0,63

Tabla: valores del Riesgo R, en función del período de retorno "Tr" de una amenaza expresado en años (Columna 1), y de la vida útil "n" de una obra (Fila 1). La diagonal en rojo (64 a 63%), destaca los valores utilizados para que las obras sean rentables

Por supuesto, el riesgo depende de la recurrencia de ese tipo de eventos a lo largo de la vida útil de la obra. El problema radica en que, con el calentamiento global, los eventos climáticos extremos se han exacerbado. Esto significa que el período de recurrencia o "Tr" de una amenaza puede aumentar, por ejemplo, de 100 a 25 años.

Como lo muestra la tabla, esto aumentaría el riesgo "R" de 0,63 a 0,98. Un resultado así significa que hay un riesgo demasiado alto —cercano a la certeza— de que la obra falle frente a la presencia de una amenaza. Cuando eso ocurre la obra deja de ser rentable.

Entonces, cuando el cambio climático ha logrado agravar la amenaza, la pregunta es: ¿qué se debe hacer? La respuesta es simple: se deben ajustar los diseños a la par con la amenaza, y con ello el nivel de riesgo se mantiene en niveles aceptables.

Así, a pesar de la incertidumbre relacionada con la geología y el comportamiento "salvaje" del clima, los diseños en escenarios complejos pueden conducir a obras robustas y confiables. Para ello es necesario hacer uso de los factores de seguridad y de la gestión del riesgo. Lo importante es reconocer las limitaciones de la ingeniería al planificar, diseñar y construir grandes proyectos, previniendo pasivos ambientales importantes que se traduzcan en riesgos.

Las medidas necesarias

Con la carretera cerrada o solo parcialmente abierta, la conectividad de esta importante región del país es reducida. Solo hay otros dos caminos que sirven como alternativa para conectar la capital del Meta con Bogotá:

- La Transversal del Sisga de 137 Km que, pasando por Guateque (Boyacá) y Aguadara (Casanare), se recorre en 8 horas; y
- El corredor Briceño–Tunja-Sogamoso por Tauramena (Casanare) de 350 Km, que se transita en 11 horas.

Para paliar el impacto, el Gobierno ha debido:

- Garantizar el abastecimiento de combustible en las zonas afectadas;
- Otorgar incentivos de almacenamiento a los productores de arroz;
- Subsidiar el precio para productores de maíz tecnificado;
- Cubrir hasta el 50 por ciento del costo de peajes en vías alternas para vehículos de transporte público y de carga;
- Otorgar excepción al cobro y recaudo de la tasa aeroportuarias;
- Promover el consumo de bienes y servicios turísticos; y
- Declarar la alerta amarilla en la red hospitalaria de Cundinamarca y Meta, entre otras medidas.

A pesar de haberse iniciado hace 24 años, es evidente que las dificultades ingenieriles del proyecto continuarán, y con ellas la difícil situación del Llano. No se trata solo del medio agreste de una cordillera sedimentada de edad reciente y alto grado de afectación tectónica del macizo rocoso. Los usos conflictivos del suelo, el calentamiento global, las limitaciones institucionales y la falta de experiencia empresarial —dada la complejidad del proyecto y afectación antrópica y natural del escenario— también le pasan factura al país.

Sumando a la fatídica historia de esta vía, la problemática actual incluye el derrumbe de los kilómetros 58 y 46+200, que ocurrió cuando las obras estaban a punto de concluir, o los desprendimientos en los kilómetros 38 y 64, que taponaron ambos carriles.

En un informe técnico realizado por la concesionaria Coviandes se identifican otros 17 lugares críticos de la vía similares a los que han generado cierres continuos. La estabilidad del corredor vial dependerá del plan de acción que se elabore para resolver esas vulnerabilidades. Mientras tanto, por lo menos hasta que la situación se regularice, el Estado deberá ejecutar un plan de ajuste macroeconómico para salvar el difícil trance.

Fuente: *Razón Pública*, Bogotá, 2019-09-23.

GEO-TEXTOS



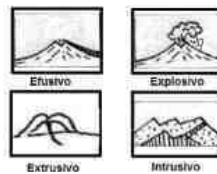
Geomecánica. Duque-Escobar, Gonzalo y Escobar P., Carlos-Enrique (2016). Programa de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.



geotecnia para el tropico andino: Duque-Escobar, Gonzalo y Escobar P., Carlos-Enrique (2016). Programa de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales



Manual de Geología para Ingenieros Duque-Escobar, Gonzalo. (2020) Fundamentos geología física y de Colombia. Universidad Nacional de Colombia



Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) [Objeto de aprendizaje] .

ANEXOS: TABLAS Y CUADROS DE GEOMECÁNICA

CARACTERÍSTICAS GENERAL DE LOS MATERIALES TÉRREOS

Fuente: Geotecnia para ingenieros de Alberto J. Martinez Vargas. (Vol 1. 1990)

CALIDAD DE LAS ROCAS IN SITU

Calidad [1 MPa = 10,197 Kg/cm ²]	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	Resistencia a la Compresión Simple (Kg/cm ²)
Muy dura	> 200	> 2500
Dura	120– 200	1000-2500
Medio dura	60 – 102	500-1000
Medio blanda	30 – 60	250-500
Blanda	10 – 30	50-250
Muy blanda	< 10	10-15
Fuentes:	Walsh, en ifcextapps.ifc.org	Conanma, en conanma.com

ÍNDICE DE CALIDAD DE ROCAS Y VELOCIDAD DE ONDA SÍSMICA

Denominación	Índice RQD	$(V_c/V_l)^2$
Muy pobre	0 a 25	0 – 0,2
Pobre	25 a 50	0,2 – 0,4
Regular	50 a 75	0,4 – 0,6
Buena	75 a 90	0,6 – 0,8
Excelente	90 a 100	0,8 a 1,0
Alberto J. Martínez Vargas, 1990		

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE ROCAS

Ensayo o prueba	Parámetros	Ensayo o prueba	Parámetros

Ensayo de compresión simple:	Resistencia a la Compresión Σc	Deformación por velocidad sónica:	Módulos dinámicos E_d y v_d .
Deformación por compresión simple:	Módulos Elásticos E y ν	Ensayo a la tracción directa:	Resistencia a la Tracción Σt
Ensayo a la compresión triaxial:	Cohesión c , Valores pico y residual del ángulo de fricción interna ϕ_p y ϕ_r .	Ensayo a la tracción indirecta:	Resistencia a la Tracción Σt
FUENTE: Luis I. González et al (2004)			

TIPOS DE DISCONTINUIDADES

Planares y Sistemáticas:	Planos de estratificación; Disyunciones de retracción térmica, Planos de esquistocidad; Planos de laminación; Juntas o Diclases.
Planares Singulares:	Fallas; Diques; Discordancias.
Lineales Sistemáticas:	Lineaciones; Intersecciones entre discontinuidades planares.
Lineales Singulares:	Ejes de pliegues.
Fuente: Luis I. Gonzalez de Vallejo	

VALORES DE c y ϕ EN MACIZOS ROCOSOS

CLASE I: RMR >80;	Cohesión >0,4. MPa;	Angulo de rozamiento interno > 45°
CLASE II: RMR 61-80;	Cohesión 0,3-0,4 MPa;	Angulo de rozamiento interno 35-45°
CLASE III: RMR 41-60;	Cohesión 0,2-0,3 MPa;	Angulo de rozamiento interno 25-35°
CLASE IV: RMR 21-40;	Cohesión 0,1-0,2 MPa;	Angulo de rozamiento interno 15-25°
CLASE V: RMR <20;	Cohesión <0,1. MPa;	Angulo de rozamiento interno <15°
Fuente: Luis I. Gonzalez de Vallejo		

ALTERACIÓN DE SILICATOS COMUNES (Leet y Judson 1977)

Mineral	Composición	Productos

Olivino	$(\text{Fe, Mg})_2 \text{SiO}_4$	Limonita, Hematita, Carbonatos de Fe y Mg, Cuarzo dividido, Sílice en solución
Hornblenda, Augita y Biotita	Silicatos de Al, con Fe, Mg, Ca	Arcilla, Calcita, Limonita, Hematita, Carbonatos solubles, Cuarzo dividido, Sílice en solución
Anortita y Albita	$\text{Ca (Al Si}_3\text{O}_8\text{)}$ y $\text{Na (Al Si}_3\text{O}_8\text{)}$	Arcilla, Cuarzo dividido, Calcita
Ortoclasea	$\text{K (Al Si}_3\text{O}_8\text{)}$	Arcilla, Carbonato de K soluble
Cuarzo	SiO_2	Granos de Cuarzo y algo de Sílice en solución

DEFORMABILIDAD DE ROCAS

Calificación	Módulo E en Mpa x 10 ³	Calificación	Módulo E en Mpa x 10 ³
Muy alto	<5	Bajo	35 - 60
Alto	5 - 15	Muy bajo	>60
Moderado	15 - 35	Fuente: Alberto J. Martínez Vargas, 1990	

DENSIDAD DE SÓLIDOS, EN MINERALES

Mineral	Gs	Mineral	Gs	Mineral	Gs
Cuarzo	2.65	Haloisita	2.0-2.55	Moscobita	2.75-3.1
Caolinita	2.6	Feld. Potásico	2.57	Hornblenda	3.0-3.47
Illita	2.8	Clorita	2.6-2.76	Limonita	3.6-4.0
Montmorillonita	2.65-2.80	Biotita	2.8-3.2	Olivino	3.27-3.37
Fuente: Braja M. Das. 2001					

PESOS UNITARIOS EN SUELOS EN SUELOS

Denominación	PU en gr/cm ³
Muy bajo	< 1,4
Bajo	1,4 a 1,7
Moderado	1,7 a 1,9
Alto	1,9 a 2,2

Muy alto	>2,2
Alberto J. Martínez Vargas. 1990.	

SERIE DE BOWEN

Cristalización el magma		
Rama discontinua	Rama continua	Alta
Olivino Piroxeno Anfibol Biotita Ortoclase Moscovita Cuarzo	Plagioclase rica en calcio Plagioclase rica en sodio	Temperatura de cristalización relativa Baja
Los primeros minerales en formarse, como el olivino y la anortita o	Estos minerales contienen una mayor proporción de	A las rocas con un alto contenido en minerales

feldespato cálsico, también son los primeros en meteorizarse. Imagen: es.wikipedia.org	aluminio (Al), potasio (K), calcio (Ca) y sodio (Na), que de hierro y magnesio.	ferromagnesianos se les denomina máficas; si es bajo se denominan félsicas.

ELEVACIÓN CAPILAR EN SUELOS (Harr, M.E. 1966)

Tipo de suelo	Arena Gruesa	Arena	Arena fina	Limo		Arcilla
Altura hc en cm	2 - 5	12 - 35	35 - 70	70 - 150		200 – 400 y más

GRADO DE PERMEABILIDAD

Denominación	K en cm/seg
Muy alta	$<10^{-2}$
Alta	$10^{-2} - 10^{-4}$
Moderada	$10^{-4} - 10^{-5}$
Baja	$10^{-5} - 10^{-7}$
Muy baja	$10^{-7} - 10^{-9}$
Impermeable	$>10^{-9}$
Alberto J. Martínez Vargas, 1990	

PERMEABILIDAD DE SUELOS

K= cm/s	10 ²	10 ¹	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Muy Bueno a bueno						Malo		Impermeable			
Capa sello	No apto							Poco apto		Apto		
Suelo	Grava y grava arenosa				Arena limosa			Limoso		Arcilloso		
Gabriel Márquez Cárdenas, 1987.												

GRADOS DE SATURACIÓN EN SUELOS

Denominación	Grado de saturación (%)
Seco	0 - 25
Húmedo	25 - 50
Muy húmedo	50 - 80
Altamente saturado	80 - 95
Saturado	95 - 100
Alberto J. Martínez Vargas, 1990	

TAMAÑOS DE GRANOS

Denominación de Tamaños	Diámetros dominantes	Suelo representativo
Muy gruesos	> 60 mm	Cantos o boleos
Gruesos	60 a 2 mm	Grava
Medianos	2 a 0,06 mm	Arena
Finos	0,06 a 0,002 mm	Limo
Muy finos	< 0,002 mm	Arcilla
Alberto J. Martínez Vargas, 1990		

DENSIDAD RELATIVA EN SUELOS

Denominación		DR %	STP en suelo no cohesivo
Muy suelto		<20	N < 4 golpes
Suelto		20 - 33	4 a 10
Compactación Moderada		33 - 66	10 a 30
Denso		66 - 90	30 a 50

Muy denso		>90	> de 50 golpes
	Alberto J. Martínez Vargas, 1990		

CONTENIDO ORGÁNICO DE LOS SUELOS

Denominación	% de Materia orgánica		% de Materia orgánica
Muy bajo	0-1	Alto	4-8
Bajo	1-2	Muy alto	8-20
Medio	2-4	Kohnke, 1972	

Perfil de meteorización del macizo Rocoso (Adaptado de: notasingenierocivil.blogspot.com.co)					
 Vegetación	Ígnea y Metamórficas	Limolitas Y Margas	Ígneas y Areniscas	Ígneas y Metamórficas	Todas las rocas
	Hz IA Con humus	IV Alteración Completa	Suelo Residual	Zona superior	Hz 6-Suelo con Humus
	Hz IB				Hz 5-Suelo sin Humus
	Saprolito IC Roca descompuesta	IV Alteración Parcial			Hz 4- Completamente descompuesto
	Suelo de Transición	III Alteración Parcial	Residual Joven	Zona Intermedia	Hz 3-Altamente descompuesto
	Meteorización Parcial	II Alteración Parcial	Roca desintegrada	Zona parcialmente alterada	Hz 2-Parcialmente descompuesto
	Roca Sana	Roca Inalterada	Roca sana	Roca inalterada	Hz 1-Roca sana

	Deere-Paton 1971	Chandler 1969	Vargas 1951	Sowers 1954-1963	Duque-Escobar 2002

ACTIVIDAD DE LAS ARCILLAS

Arcilla	Superficie Específica m ² /gr	Actividad (Skempton)	Índice Plástico	LL
Montmorillonita	500-800	0.5 a 7.2	>>50	(?)Tixotrópico
Illita	60-120	0.3 a 0.9	33-50	60-90
Caolinita	20-40	0.1 a 0.4	1-40	30-75
Gabriel Márquez y Alberto J. Martínez (Adaptado)				

COMPRESILIDAD Y EXPANSIBILIDAD DE SUELOS

Símbolo Suelo	Resist al Corte	Símbolo Suelo	Resist al Corte	Símbolo Suelo	Resist al Corte	Símbolo Suelo	Resist al Corte
GW	Práct/te nula	SW	Práct/te nula	ML	Ligera a media	MH	Alta
GP	Práct/te nula	SP	Práct/te nula	CL	Media	CH	Muy alta
GM	Ligera	SM	Ligera	OL	Media a alta	OH	Alta
GC	Ligera	SC	Ligera a media	Fuente: Rico y del Castillo (1974) and Sowers y Sowers (1978)			

CLASIFICACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS (Según Holta – Gibbs)

Potencial de expansión	G.E. consolidado	LR	IP	% < 0,001	EL
Muy alto.	> 30%	< 10%	> 32%	> 37%	> 100%
Alto.	20% - 30%	6% - 12%	23% 45%	18% - 37%	> 100%
Medio.	10% 20%	8% - 18%	12% 34%	12% - 27%	50% - 100%
Bajo.	< 10%	> 13%	< 20%	< 17%	< 20%

Compresibilidad Vs. Cc y LL

Compresibilidad	Índice de Compresión Cc	Límite Líquido WL
Ligera a baja	0 a 0,19	0 a 30
Moderada a Media	0,20 a 0,29	31 a 50
Alta	40	>51
Fuente: Sowers y Sowers. Londres 1978.		

MÓDULO EDOMÉTRICO (Kogles y Scheiding)

Material	Turba	Arcilla plástica	Arcilla consistente	Arcilla de media a dura	Arena suelta	Arena densa
Mv (10 ⁻³ cm ² /kg)	1000-200	200-25	25-12,5	12,5-6,7	10 a 5	2 a 1,3
Fuente: Alfred Jumikis, 1965.						

Consistencia de Arcillas saturadas V.S. Resistencia a la Compresión Inconfinada

Consistencia	Muy blanda	Arcilla Blanda	Medianamente compacta	Arcilla Compacta	Muy compacta	Arcilla Dura
Qu (kg/cm ²)	< 0,25	0,25 a 0,5	0,5 a 1,0	1,0 a 2,0	2,0 a 4,0	> 4,0
Fuente: Terzaghi y Peck, 1980						

SUELOS FINOGRANULARES: IDENTIFICACIÓN MANUAL

Nombre descriptivo	Resistencia en estado seco	Reacción a la dilatancia	Tenacidad del hilo plástico	Tiempo de asentamiento (P. dispersión)
Limo arenoso	Ninguna a muy baja	Rápida	Débil a friable	30seg a 60min
Limo	Muy baja a baja	Rápida	Débil a friable	15min a 60 min
Limo arcilloso	Baja a media	Rápida a lenta	Media	15min a varias hr
Arcilla arenosa	Baja a alta	Lenta a ninguna	Media	30min a varias hr
Arcilla limosa	Media a alta	Lenta a ninguna	Media	15min a varias hr
Arcilla	Alta a muy alta	Ninguna	Alta	Varias hr a días
Limo orgánico	Baja a media	Lenta	Débil a friable	15min a varias hr
Arc. orgánica	Media a muy alta	Ninguna	Alta	Varias hr a días
Fuente: Peck, Hanson y Thornburn, 1974.				

ÁNGULO DE FRICCIÓN FI, EN SUELO SECO A HÚMEDO

Material	Suelto	Denso
Arena. Granos redondos y uniformes	27,5º	34º
Arena. Granos angulares y bien gradada	33º	45º
Cascajo arenoso	35º	50º
Arena limosa	27 – 33º	30 – 34º
Limo inorgánico	27 - 30º	30 – 35º
Valores estimados con Presión efectiva < 5 kg/cm ² - Fuente: Terzaghi y Peck 1980.		

RESISTENCIA AL CORTE EN SUELOS COMPACTADOS Y SATURADOS

Símbolo Suelo	Resist. al Corte	Símbolo Suelo	Resist. al Corte	Símbolo Suelo	Resist. Corte	Símbolo Suelo	Resist. al Corte
GW	Excelente	SW	Excelente	ML	Regular	MH	Regular a Deficiente
GP	Buena	SP	Buena	CL	Regular	CH	Deficiente
GM	Buena	SM	Buena	OL	Deficiente	OH	Deficiente
GC	Buena a Regular	SC	Buena a Regular	Fuente: Lambe y Whitman. 1976			

PARÁMETROS TÍPICOS PARA SUELOS EN ESTADO NATURAL

Nombre descriptivo	Porosidad n (%)	Rela. D vacíos e	Hum de S. W sat%	PU Seco (gr/cm³)	PU Saturado
Arena uniforme, floja	46	0.85	32	1.43	1.89
Arena uniforme, densa	34	0.51	19	1.75	2.09
Arena gradada, floja	40	0.67	25	1.59	1.99
Arena gradada, densa	30	0.43	16	1.86	2.16
Arcilla glacial balda	55	1.2	45	1.22	1.77
Arcilla glacial dura	37	0.6	22	1.70	2.07
Arcilla blanda algo orgánica	66	1.9	70	0.93	1.58
Arcilla blanda muy orgánica	75	3.0	110	0.68	1.43
Arcilla blanda montmorillonítica	84	5.2	194	0.43	1.27
Gabriel Márquez Cárdenas, 1987.					

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DE MANIZALES**1- Complejo Quebradagrande. Observaciones en La Sultana según Aquaterra.**

Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo
Humedad natural -%	34,13	10,70	176,6
Límite Líquido -%	39,68	17,6	178,1
Límite Plástico -%	27,02	13,9	67,8
Índice Plástico -%	12,65	3,1	110,3
Compresión Inconfinada -t/m²	9,94	5,54	18,28
Peso Unitario Húmedo -t/m³	1,738	1,06	2,15
Cohesión t/m²	2,98	0,30	4,90
Ángulo de Fricción - grados	31,92	28,16	35,67

Fuente: Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2004.

2- Formación Casabianca. Observaciones en Fundadores según Aquaterra.

Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo
Humedad natural -%	88,3	51,9	128,9
Límite Líquido -%	86,0	65,2	135,4
Límite Plástico -%	40,9	37,2	45,0
Índice Plástico -%	45,0	19,0	90,4
Índice de Liquidez -%	0,9	0,8	0,9
Peso Unitario Húmedo -t/m³	1,715	1,609	1,821
Peso Unitario Seco -t/m³	1,036	0,874	1,198
Compresión Inconfinada -t/m²	21,22	13,86	28,57
Penetración Estándar -Golpes /pie	17,0	15,0	19,0

Fuente: Estudio de Suelos para la Rehabilitación Estructural del Teatro Fundadores. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2003.

3- **Parámetros de los suelos de cobertura, en Manizales**

Parámetros geotécnicos para el rango de valores	Cenizas Volcánicas Unidad No Consolidada	Cenizas Volcánicas Unidad Consolidada	Suelos residuales de depósitos conglomeráticos
Peso Unitario Húmedo (t/m³)	1,5-1,7	1,33	1,5-1,9

Humedad Natural (%)	25-65	>80	30-80
Pasa 200 (%)	25-50	>70	5->90
Límite líquido (%)	30-70	>100	NP->80
Límite plástico (%)	20-50	>60	NP->50
Índice plástico (%)	5-30	>40	NP->40
SUCS	SM	MH	MH-ML-SM-SP
Cohesión (t/m²)	1-3	>4	1->4
Ángulo de fricción (°)	30-36	25-30	20-35
Permeabilidad (cm/día)	15-85	2-14	>20

Fuente: Francisco José Cruz Prada. Relaciones Lluvias Deslizamientos en la Ciudad de Manizales. Revista SCIA 48 años. Manizales 2004.

4- Parámetro Q de Barton, en: Formación Manizales F Mz, Formación Casavianca F Cb y Complejo Quebradagrande C Qg								
Roca de	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q	Clasificación según Barton
F Mz	60	12	3	2	0.8	7	0,825	Muy mala
F Cb	6	20	1.3	6	0.4	12	0,002	Excepcionalmente mala
C Qg	30	15	0,5	4	0.2	5	0,011	Extremadamente mala
Parámetro Q de Barton, y Factores de Tamaño de bloques ((RQD/Jn), la Resistencia al esfuerzo cortante entre bloques (Jr/Ja) y Esfuerzos activos al interior del macizo (Jw/SRF).								

Fuente: Valores asignados a los factores para obtener el parámetro Q de Barton, en las rocas de los macizos rocosos de Manizales. Duque Escobar Gonzalo y Duque Escobar Eugenio. 2006.



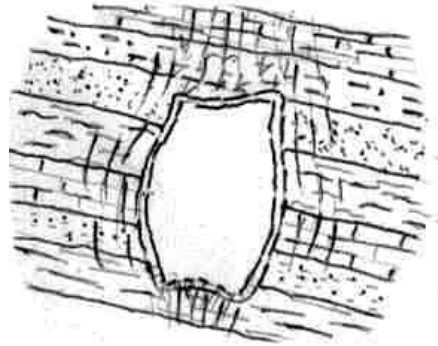
Manual de geología para ingenieros.

Duque Escobar, Gonzalo (2003) *Manual de geología para ingenieros*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/3145/manualgeo.pdf>

ENLACES U.N.

<u>Agua y clima en el desafío ambiental.</u> <u>Aguas subterráneas.</u> <u>Centenario "canalero".</u> <u>Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes.</u> <u>Colombia geoestratégica.</u> <u>Colombia, país de humedales amenazados.</u> <u>Colombia Tropical ¿y el agua qué?</u> <u>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</u> <u>Cultura del agua en los ríos urbanos.</u> <u>El agua en Colombia: glosas.</u> <u>El agua en la biorregión caldense.</u> <u>El eje Urabá – Tribugá: la salida a los océanos en Colombia.</u>	<u>El fantasma de la imprevisión.</u> <u>El por qué de los aguaceros en Colombia.</u> <u>El volcán y el desastre de Armero.</u> <u>Flujo de agua en el suelo.</u> <u>Huella hídrica en Colombia.</u> <u>Huracán Iota: tifón que abate a San Andrés.</u> <u>Huracanes y terremotos acechan.</u> <u>La encrucijada ambiental de Manizales.</u> <u>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales</u> <u>Llega el invierno, ¿pero la vulnerabilidad qué?</u> <u>Impactos del nuevo Canal de Panamá.</u> <u>La economía azul en la esfera de la producción.</u>	<u>Las cuentas del agua.</u> <u>Manizales, ¿ciudad del agua?</u> <u>Manizales: Foro del Agua 2019.</u> <u>Magdaleneando hasta el Tolima Grande.</u> <u>Nuestras aguas subterráneas.</u> <u>Nuestro frágil patrimonio hídrico.</u> <u>Patrimonio hídrico: carencias en la abundancia.</u> <u>Periplo científico de Humboldt por América.</u> <u>Por falta de bosques con el agua al cuello.</u> <u>¿Regresión ambiental en la Reserva de Río Blanco?</u> <u>Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia.</u> <u>Ríos urbanos para Manizales.</u>

LECTURA COMPLEMENTARIA: TÚNEL MANIZALES**Túnel Manizales**

**Por: Gonzalo Duque Escobar I. Civil, y Eugenio Duque Escobar Geólogo
Especialistas en Geotecnia.**

AGUAS DE MANIZALES

Consultoría de INGENIERÍA DE SANEAMIENTO AMBIENTAL – INGESAM

Manizales, 28 de septiembre de 2006

Resumen

Estudio de prefactibilidad del Túnel Manizales, una conducción subterránea, de 1850 m de longitud, 2,5 m de diámetro y 150 m de techo máximo, localizado en el sector urbano de Manizales-Villamaría, útil para el trasvase de aguas residuales entre la microcuenca de la quebrada Olivares (subcuenca del río Gaucaica) y la subcuenca del Río Chinchiná, como parte de la consultoría de INGESAM para Empresa Aguas Manizales en el marco del proyecto de saneamiento básico del río Chinchiná.

CONTENIDO

I- PARTE DESCRIPTIVA. Pag 320: Presentación - Justificación Geología de Manizales- Aspectos morfológicos y geotécnicos -Caracterización de los Macizos - Definición del problema	
II- PARTE ANALÍTICA. Pag 335: Alcance del estudio- Descripción de portales opcionales-Características geomecánicas de las rocas -Análisis fotogeológico estructural-Clasificación de los macizos rocosos	
III- PARTE CONCLUSORIA. Pag 358: Túneles de primera opción- Costos y rendimientos provisionales- Actividades de prospección y recomendaciones- Complementos y estrategias -Agradecimientos	
IV- BIBLIOGRAFÍA. Pg 366- V- ANEXOS (7 Carpetas que se omiten).	

- I- PARTE DESCRIPTIVA

Presentación

Estudio de factibilidad para cruzar el subsuelo de Manizales a la altura del sector de Fundadores para establecer un paso para el sistema troncal de conducción de las aguas servidas del costado norte de la ciudad hacia su costado sur, buscando integrar los dos distritos sanitarios más importantes de Manizales: el de la Quebrada Olivares al Norte y el del río Chinchiná al Sur. Dicho sistema contempla entre otros, tres túneles que se denominarán:

- Túnel Manizales, a la conducción cuyo objeto es integrar las dos subcuencas señaladas en los distritos mayores del Olivares y Chinchiná.;
- Túneles de Santa Helena y La Avanzada, a dos soluciones subterráneas menores, necesarias para viabilizar y empalmar las conducciones con dificultades superficiales en la cuenca de la Quebrada Olivares.

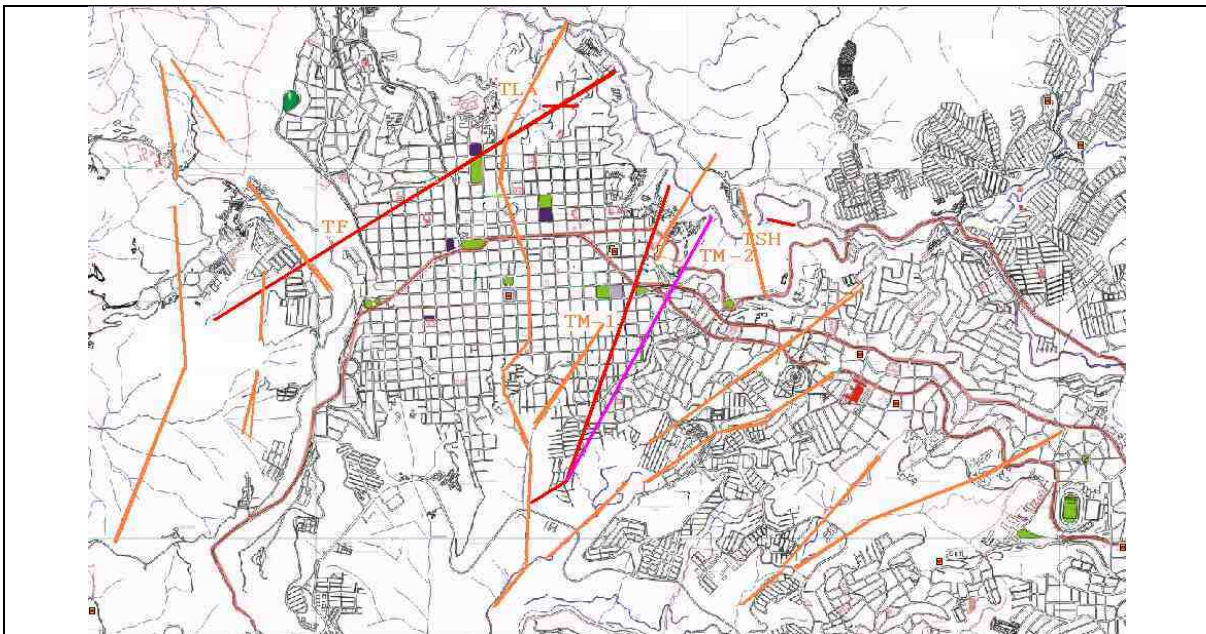


Figura 1a. Localización de los túneles considerados (rojo y violeta) y de fallas y lineamientos estructurales de Manizales (naranja), con respecto a la retícula del área urbana de Manizales, Caldas. El ancho de la imagen cubre cerca de 6 km, en sepia las vías que cruzan la ciudad en dirección E-W y en verde claro los principales parques. Plano fuente, Web de la SMP Manizales.

Justificación

En la década de los años 20s fueron para el FF CC de Caldas, fueron construidos varios túneles, cinco de ellos entre Chinchiná y Manizales excavados con sección de herradura entre 1925 y 1927. El de la Estación Manizales fue construido en la Formación Casabianca y recubierto en concreto. Esto para señalar la viabilidad técnica de esta empresa.

Geología de Manizales

Los fundamentos que a continuación se presentan, se soportan en los estudios contemplados en la Bibliografía.

Complejo Quebradagrande.

El Complejo Quebradagrande de edad Cretácica incluye rocas volcánicas y sedimentitas, éstas últimas consistentes en areniscas líticas, brechas sedimentarias, conglomerados polimícticos con clastos volcánicos, además cuarzo lechoso, fragmentos de anfibolitas, chert, lutitas, lentes de calizas y grauvacas. Todo el paquete con buzamiento alto salvo excepciones locales. La unidad como tal, según Naranjo, ha pasado de una alta diagénesis a un metamorfismo de baja presión. Cabe destacar que en su litología se da la presencia de rocas carbonosas altamente inestables

Formación Manizales.

Formación depositada en el intervalo temporal de 4 a 8 millones de años, que suprayace el basamento. Está constituida por un conjunto de rocas sedimentarias vulcanogénicas con clastos del complejo volcánico Ruiz–Tolima.

Para Naranjo, en el escarpe Chipre, ésta se muestra con “conglomerados bloquesoportados, conglomerados lodosos matriz soportados, areniscas con estratificación cruzada de ángulo bajo, areniscas y conglomerados tobáceos”. Los niveles conglomeráticos están mal seleccionados, pobremente sorteados y poseen fragmentos de filitas, pizarras, cuarzodioritas, andesitas basálticas, neiss biotíticos, andesitas y cuarzo lechoso. La Formación a pesar de sus variaciones, presenta una tendencia a clastosoportarse con mayores diámetros en la base y a matrizsoportarse con los menores en el techo; y que la matriz arenolimsa como también el profundo drenaje circundante, aunado a las estructuras tectónicas, explican su condición drenada. Adelante se darán algunos valores.

Formación Casabianca.

Esta unidad al igual que la anterior y los depósitos piroclásticos, que le sirven de piso y techo, constituyen el supraterrano de Manizales. Espacialmente, reposa sobre la Formación Manizales y el Complejo Quebradagrande.

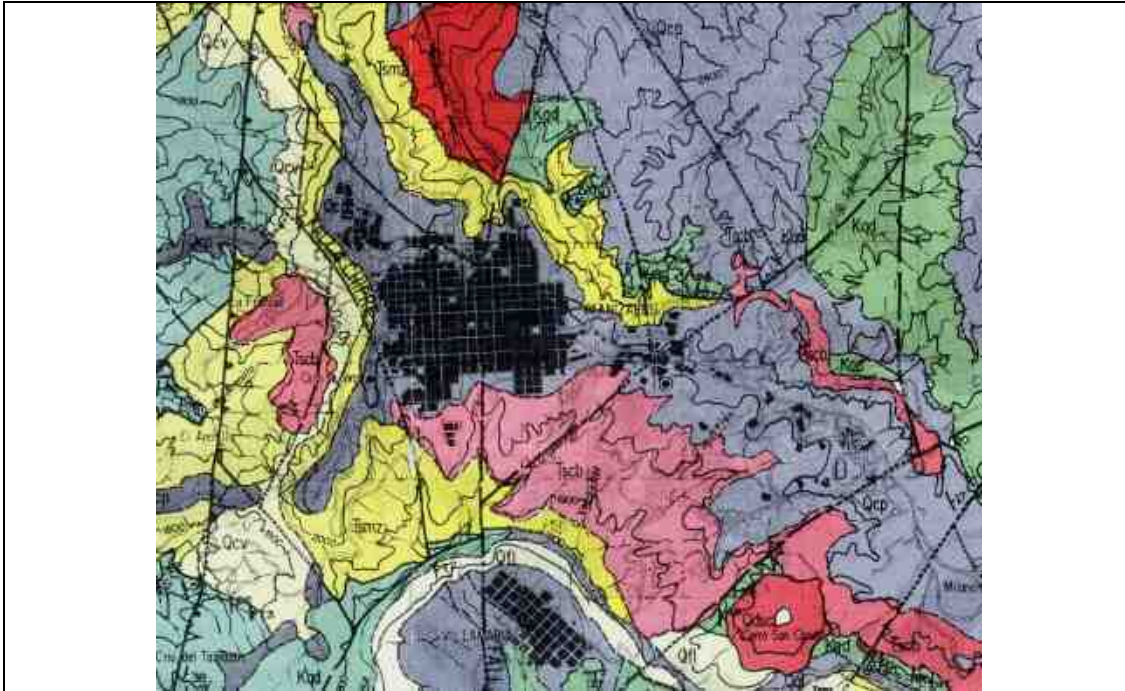


Figura 1c. Planta de la geología de Manizales en la zona de estudio y Unidades geológicas así: Complejo Cretácico Quebradagrande en verde (Kqd), Formación Manizales del Terciario superior en amarillo (Tsmz), Formación Quebradagrande del Terciario superior en rosado (Tscb), Cubierta piroclástica del Cuaternarias en gris (Qcp). En negro, además de la retícula urbana de Manizales y Villamaría, curvas de nivel, contornos y drenaje, los lineamientos estructurales ciertos (—) e inferidos (...). Fuente: Naranjo y Ríos. 1989.

El espesor promedio de esta secuencia volcanoclástica en el área de Manizales es de 50m y la misma está compuesta por flujos individuales cuyo espesor varían de 0,5m hasta 15m. Los conglomerados, aparecen pobremente sorteados y con estructuras internas destruidas por los procesos diagenéticos que le causaron argilización. Litológicamente, los clastos de los flujos de escombros son en un 65 - 80%, de más de 2cm de grueso predominantemente; el 90% de ellos son andesitas y el resto plutones del Stock de Manizales y metamorfitas de Cajamarca. La matriz de Casabianca es arcillolimososa;

Tectónica

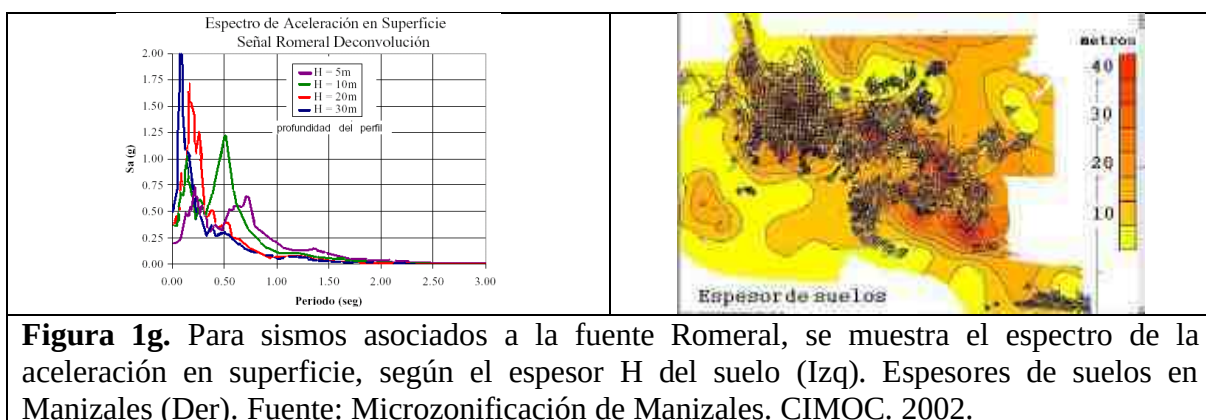
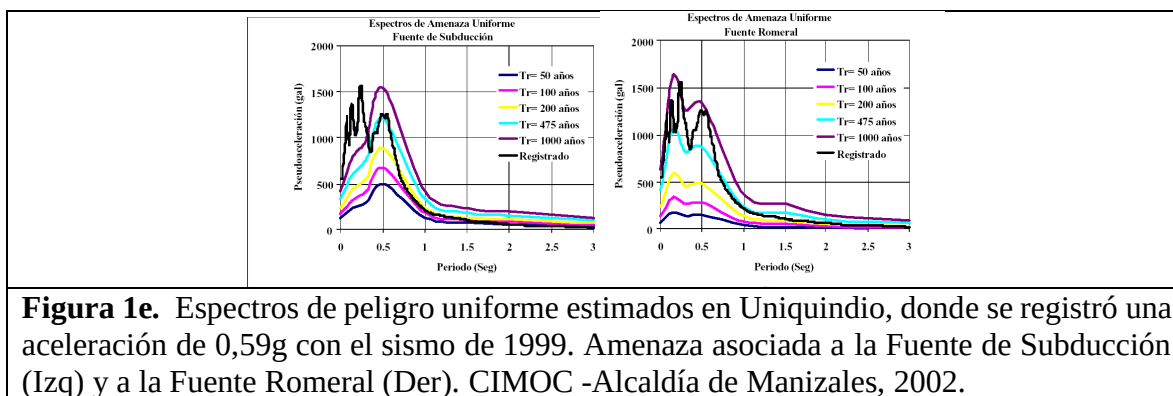
Es evidente el levantamiento reciente que muestra la ciudad en el costado occidental y que se anuncia con el escarpe de Chipre. Los flujos de lodo que afloran en los taludes, anuncian el levantamiento de bloques tectónicos, cuyas fallas con dirección norte-sur, este-oeste y otros rumbos, encuentran su expresión topográfica en quebradas y ríos.

Las fallas regionales y el conjunto de fallas locales pertenecen a la Falla Fundamental de Romeral (FFR). Las fallas con actividad reciente, según estudios de neotectónica local y mediciones de radón, parecen ser Villamaría-Termas del Ruiz, Manizales-Aranzazu, Palogrande y San Esteban.

En cuanto a la amenaza sísmica, el Eje Cafetero posee dos fuentes de singular importancia: El Sistema de Fallas Romeral y otras Fallas, todas con sismos superficiales como los del Quindío 99 y Popayán 83, y la Zona de Subducción y Plano de Benioff con sismos profundos como los de 1962, 1979 y 1995. (Duque 1998).

En el sismo del Quindío 1999, veamos lo ocurrido en dos lugares ubicados a similar distancia y dirección: con los valores de la aceleración medidos a unos 20 km del epicentro: en suelos blandos han alcanzado hasta 0,59g en un depósito de 30 m de espesor (20 m de cenizas más 10 m de relleno) y en topografía plana sobre un conglomerado de una bocatomía la aceleración registrada fue 0,09g. Los datos se han obtenido del estudio Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales, CIMOC -Alcaldía de Manizales, 2002.

Estos investigadores del equipo CIMOC han sugerido diseñar las obras regulares de la Ciudad para una vida útil de 50 años, y de conformidad con éste, el período de retorno correspondiente calculado con base en la sismicidad histórica local resulta ser 475 años.



También se consideró por CIMOC el espesor del depósito de suelo blando considerando espesores de 5, 10, 20 y 30 m; para estos, los períodos fundamentales promedios, en segundos, con eventos de las fuentes sísmicas, varían así en cada caso para el orden de los espesores dados: 0,11, 0,26, 0,51 y 0,76seg.

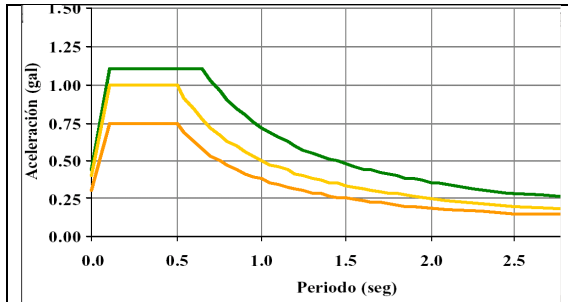


Figura1h. Espectros de diseño para las diferentes Zonas de la ciudad de Manizales. Los túneles deben responder a la Zona C. Los tres espectros son: el superior para la Zona A, el intermedio para la B y el inferior para la C. Fuente: Microzonificación de Manizales. CIMOC. 2002.

La microzonificación de la ciudad concluye identificando VI zonas, quedando la F. Manizales como la Zona III, la F. Casabianca como la Zona IV y el C Quebradagrande como la Zona V.; luego por razones prácticas éstas se simplifican y únicamente se definen 3 Zonas, así: Zona A para Cenizas que eran la Zona I; Zona B para llenos que eran la Zona II; y Zona C, la de los túneles, para las Zonas III, IV y V, además de la Zona VI que es la de depósitos competentes aislados.

Entonces, las unidades Manizales, Casabianca y Quebradagrande, de nuestro interés, son de la Zona C, y ésta se rige por los espectros NSR-98.

Aspectos morfológicos y geotécnicos.

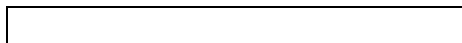
Las Formaciones Manizales y Casabianca asimilables a un Conjunto Conglomerático y en especial la primera de ellas, le imprimen al paisaje de Manizales ciertas características como:

El Conjunto Conglomerático se extiende como un depósito de gran potencia sobre una gran depresión con características de escalamiento tectónico, a modo de valle localizado donde el drenaje principal modifica su régimen torrencial en fluvial. De ahí que el conjunto sea un abanico aluvial, de similares características a los de Pereira y Armenia, pero tectonizado y levantado.

Las cuestas elementales de Manizales pueden quedar ubicadas en laderas de cualquiera de las unidades geológicas señaladas: las localizadas en la Formación Manizales rara vez presentan caída de bloques y en caso de lluvia intensa, deslizamiento traslacional o de tipo planar, mientras las asociadas a la Formación Casabianca los presentan con mayor frecuencia y del tipo rotacional, y en especial cuando aparecen los suelos blancos o cuando se saturan las vaguadas más cóncavas en las dos direcciones. Las inestabilidades en el Complejo Quebradagrande surgen por el deterioro de las laderas a partir de afloramientos de naturaleza carbonosa o grafitosa en su base o en niveles inferiores, que aparecen saturados y expuestos; además en las zonas de mayor fracturamiento tectónico en esa unidad litológica, identificable por su color negro, aspecto pizarroso y presencia de azufre.

Las Cenizas Volcánicas -tefras y tobas de la cobertura-, ofrecen estabilidad a las laderas, salvo cuando su basamento falla o cuando se les expone a factores de erosión. Estos fragmentos piroclásticos eruptivos que suavizan la topografía al depositarse en capas que siguen las irregularidades y ondulaciones del terreno, sirven en el diagnóstico de las áreas erosionadas y las zonas inestables.

	
Figura 1i. El paisaje de Manizales es el de una ciudad de laderas. Las laderas muestran salientes que delimitan las formaciones superficiales y profundas, anunciando la mayor estabilidad de las unidades inferiores., respecto a las otras más recientes que las cubren. Esas son la Formación Manizales en la Ladera NW o de Olivares (Izq), y los Gabros de Chinchiná en la ladera SW o del Chinchiná (Der).	Imagen 1j. Formación Manizales en la panamericana (Izq) y Formación Casabianca en Santa Helena (Der). Además del fuerte contraste en el grado de meteorización entre ambas, el color de la matriz, café en la primera y naranja o rojizo en la segunda, facilitan su diferenciación.



La Formación Manizales, especialmente, presenta zonas con distinta capacidad mecánica por tener grado de consolidación variable, y en menor grado cantos de diferente naturaleza. La cementación de la matriz, aunque algo incipiente pero suficiente para añadirle propiedades casi impermeables al material, es causada por arcillas y óxidos. Esto unido al tectonismo local, explica las variaciones de estabilidad entre laderas y taludes, como también la presencia de zonas más degradables que otras a escala urbana.

En la Formación Manizales los portales ubicados en el macizo sano, sin fallas de ladera, admiten taludes casi verticales; el macizo tiene diferente resistencia a causa del contraste entre bloques con diferencias de alteración y composición, y entre los cantos y la matriz pobremente cementada; en especial las lavas andesíticas, por su reducido contenido de cuarzo, son consideradas blandas.

Los grandes tamaños de los bloques en esta formación, hacen difícil la excavación y conducen a la necesaria utilización de métodos de perforación mecánica con voladuras, a la instalación de vagonetes de plataforma con poco cajón para ubicarlos y sacarlos, y al uso de concreto lanzado en zonas críticas. La calidad del relleno o matriz, igualmente, obliga a la excavación y entibado simultáneos, después de los cuales podrá resolverse el tipo de

soporte donde se requiera. El Túnel Manizales cruza esta formación rocosa conglomerática cuyas rocas, calificadas de blandas y porosas, aunque algo cementadas, como se verificará más adelante, efectivamente ganan resistencia con la profundidad al cerrarse más los poros y también como consecuencia de la mayor intensidad de los factores diagenéticos. Antes de la excavación su resistencia puede incrementarse más, si previamente se drena el macizo.

- De otro lado, la Formación Casabianca, en profundidad presenta bloques aislados y alterados, y por lo tanto es una unidad matrizsoportada en un suelo duro y que hacia la superficie se va modificando hasta alcanzar las características de suelo blando y cohesivo, el cual que admite taludes casi verticales de mediana altura o de mayor desarrollo cuando el suelo es más profundo. Como evidencia, en la banca del ferrocarril estos, con 80 años de excavados, llegan hasta los 20 m, e incluso a los 30 m de altura de forma muy ocasional. Además, cuando en esta unidad se han desarrollado suelos blancos, que son expansivos, la falla y la inestabilidad de los taludes son absolutas y generalizadas, conduciendo a una situación como la que se observa en la Avenida Kevin Ángel entre Aguas de Manizales y San Rafael, donde se efectuaron los cortes respectivos. Debe señalarse que el Túnel de La Avanzada transcurre en un macizo de esta unidad, el que posiblemente deberá considerarse como un túnel en suelo residual proveniente de la alteración de una roca blanda de origen conglomerático.

Los parámetros geotécnicos suministrados por la prestigiosa empresa Aquaterra Ingenieros Consultores SA, correspondientes a muestras de la Formación Casabianca obtenidas en el estudio del Teatro Fundadores, y para el Complejo Quebradagrande, del estudio de la ladera sur de La Sultana, y que son de dos lugares diferentes de la ciudad, se presentan en la Tabla 1a.

Complejo Quebradagrande. Observaciones en La Sultana según Aquaterra.				Formación Casabianca. Observaciones en Fundadores según Aquaterra.			
Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo	Ensayo	Promedio	Mínimo	Máximo
Humedad natural -%	34,13	10,70	176,6	Humedad natural -%	88,3	51,9	128,9
Límite Líquido -%	39,68	17,6	178,1	Límite Líquido -%	86,0	65,2	135,4
Límite Plástico -%	27,02	13,9	67,8	Límite Plástico -%	40,9	37,2	45,0
Índice Plástico -%	12,65	3,1	110,3	Índice Plástico -%	45,0	19,0	90,4
Compresión Inconfinada -t/m ²	9,94	5,54	18,28	Índice de Liquidez - %	0,9	0,8	0,9
Peso Unitario Húmedo - t/m ³	1,738	1,06	2,15	Peso Unitario Húmedo - t/m ³	1,715	1,609	1,821

Cohesión t/m ²	0,298	0,03	0,49	Peso Unitario Seco -t/m ³	1,036	0,874	1,198
Ángulo de Fricción - grados	31,92	28,16	35,67	Compresión Inconfinada -t/m ²	21,22	13,86	28,57
Fuente: Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2004.				Penetración Estándar - Golpes /pie	17,0	15,0	19,0
				Fuente: Estudio de Suelos para la Rehabilitación Estructural del Teatro Fundadores. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2003.			

Tabla 1a. Características Geotécnicas en muestras del Complejo Quebradagrande obtenidas en la Sultana y de Casabianca en Fundadores, por Aquaterra Ingenieros Consultores S.A.

- Los parámetros geotécnicos de los Suelos Residuales de Depósitos Conglomeráticos, en el sector de la comuna 2 de Manizales hoy denominada Olivares -donde se ubica el Túnel de la Avanzada- que son suelos de las Formaciones Casabianca y Manizales-, y también los parámetros de las cenizas volcánicas consolidadas y no consolidadas -que en su orden son las tobas y tefras de la cobertura-, se presentan en la Tabla 1b, y han sido tomados todos ellos de un artículo de Corpocaldas presentado el 2004 en la Revista de los 48 años de la SCIA en Manizales, firmado por la Dirección de la entidad ambiental.

El Complejo Quebradagrande está compuesto por dos miembros: el metasedimentario y el volcánico.

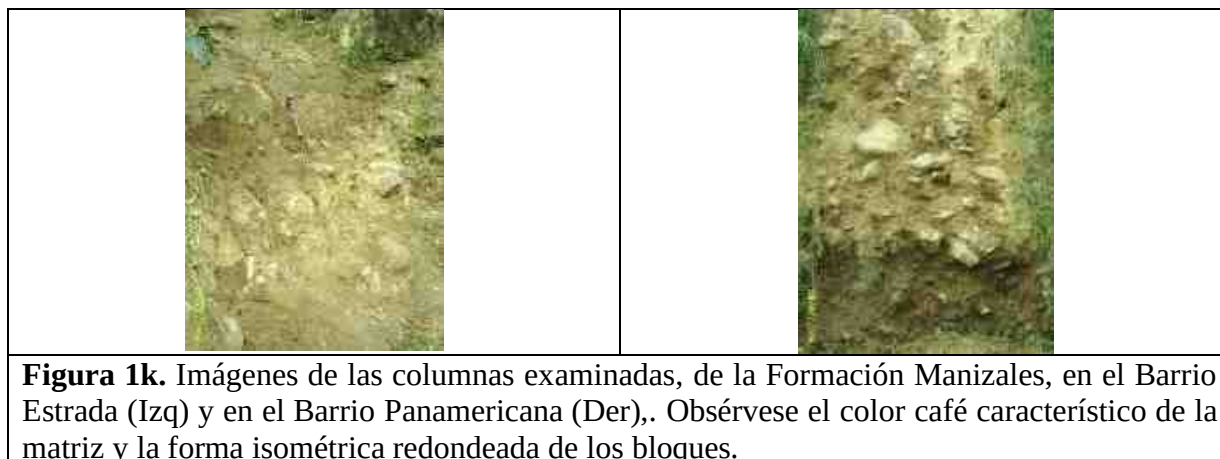
- El miembro metasedimentario que presenta propiedades geomorfológicas y geotécnicas de un doble carácter, las afines a las sedimentitas y propias de las metamorfitas de bajo grado. El otro componente del Complejo Quebradagrande, el miembro de origen volcánico, está constituido por lavas básicas de ambiente oceánico.
- Volviendo de nuevo al miembro metasedimentario de Quebradagrande, desde la perspectiva geotécnica, el metamorfismo, aunque bajo le imprime un doble carácter: el de la deformación de la masa rocosa y el de la consecuente alteración mineralógica. Así la roca gana densidad, reduce su porosidad primaria, se folia según la dirección de los esfuerzos y se hace más rígida en una dirección preferencial, la que normalmente se suma a la de los planos de la paleoestratificación que aún persistan, si es que estos coinciden en rumbo y dirección con los primeros.
- Las geoformas que ofrece el Complejo Quebradagrande, son sustantivas para el escenario del basamento donde se trazan los alineamientos, particularmente en el caso del túnel Manizales, sobre todo, por la incertidumbre de la paleotopografía, máxime cuando la

continuidad del techo de la Formación Manizales presenta dificultades en su correlación horizontal.

Caracterización de los Macizos

A continuación, la caracterización de los macizos en las tres unidades geológicas, advirtiendo que los niveles de información general son escasos, y la información específica o del lugar, casi nula.

Levantamiento del Macizo para caracterizar la Formación Manizales



Para conocer las características de esta Formación, dado que la conducción de mayor importancia será el túnel para el trasvase de las aguas del Distrito Olivares al Distrito Chinchiná, se realizó el levantamiento de sendas columnas estratigráficas, en el sector del Barrio Estrada y del Barrio Panamericana, respectivamente (Ver Anexo 2).

Columna del Barrio Estrada: La longitud de la columna es de 36,37m no continuos, pues se inició un barrido vertical con un ancho de un metro para continuarlo desplazados cinco metros al occidente, manteniendo la conexión del horizonte final del primer tramo con el inicial del segundo. Lo anterior en virtud de la aparición de un pequeño coluvión que no era objeto de la prospección.

El examen de la columna así levantada enseña lo siguiente:

Desde el punto de vista granulométrico los diámetros de la columna vertical contabilizados presentan la siguiente frecuencia por rangos de diez centímetros.

Diámetro (cm)	Nº de bloques	Longitud (m)
10-20	11	2,67
20-30	11	2,54

30-40	8	2,85
40-50	7	2,86
50-60	5	2,86
>1m	4	2,16
Otros	15	7,78
Total	56	23.72

Tabla 1c. Frecuencia de bloques para una columna de una ladera del Barrio Estrada.

En términos de la fábrica textural, la longitud de los tramos con bloques que superan los 10cm, fue de 23,72m equivalentes al 65% de toda la columna; y el número de tramos en matriz, del 35%. No se midió la proporción de zonas clastosoportadas. El estado de meteorización de los bloques es variado afectando especialmente a los menores de 20 cm. La mayoría de los bloques es de naturaleza ígnea andesítica. Además, se observan muy pocos bloques de granodiorita y con tamaños de hasta el decímetro. La forma dominante de los bloques es la isométrica subredondeada.

Las características de la matriz son las siguientes: zonas húmedas ninguna, tampoco afloró el nivel freático, siempre afectada por meteorización y con evidencias de contenido orgánico. Su aspecto es el de un suelo limo arenoso con contenido orgánico y de baja plasticidad. No se observaron fracturas en el macizo, aunque los bloques embebidos en el mostraban desplazamiento por gravedad con la correspondiente deformación plástica de la matriz de la cual salían con facilidad al excavarlos con palín.

Columna del Barrio Panamericana: Esta columna sobre una longitud de 42,6m metros, y adicionalmente se realizó un claro de forma horizontal en dirección occidente oriente. El examen de la columna levantada así, muestra lo siguiente:

Diámetro (cm)	Nº de bloques	Longitud (m)
10-20	8	1,38
20-30	12	3,09
30-40	14	4,69
40-50	8	3,40
>1m	4	4,19
Otros	7	4,69
Total	55	21,44

Tabla 1d. Frecuencia de bloques para una columna de un talud en el barrio Panamericana.

Desde el punto de vista granulométrico, se encuentra que la longitud de los tramos con bloques mayores de 10 cm es del 50% y la correspondiente a la matriz, del 63%. No se midió la proporción de zonas clastosoportadas.

El estado de meteorización de los clastos es mínimo afectando particularmente a las gravas. La mayoría de los bloques es de lavas andesíticas. La forma dominante de los bloques es isométrica y subredondeada.

Las características de la matriz fueron las siguientes: zonas húmedas sobre la base del talud, donde afloró el nivel. Además, se observó un núcleo de humedad que contrastaba con el conjunto. La zona no presentaba caudal visible. La matriz se encontró poco meteorizada, y con buen grado de consolidación y cementación.

Se observó una línea de fracturas con tendencia horizontal en cada bloque y también en su conjunto, que por su altura sugería responder a una línea de voladura y no a una diaclasa.

En conclusión, la Formación Manizales en la zona del portal de entrada, muestra mayor frecuencia de bloques apareciendo estos con una relación 2 a 1 respecto a la matriz, allí donde la unidad se excava por un nivel inferior respecto a su techo local. En el portal de salida, aunque la cota es menor, la unidad se excava cerca del su techo y no en su base, y por lo tanto más cerca de la F Casabianca. Ahora, a lo largo de la columna para el portal de salida, ocurre que la proporción de la matriz iguala a la de los bloques. De lo esto y otras observaciones se ha concluido que se puede asumir el RQD para la roca más fresca, del 60%. Los detalles de estos levantamientos aparecen en el Anexo 2.

Levantamiento del Macizo para caracterizar Quebradagrande y Casabianca

Se trata entonces de obtener el número de familias de discontinuidades, el índice de calidad de roca RQD y el tamaño típico de los bloques, para complementar la resistencia a la compresión confinada, la fricción, la cohesión y otras variables más, que de estas unidades y de la anterior, se ha entregado en las Tablas 1a y 1b. Para el efecto recurrió a la observación de campo en lugares propicios, así:

Para la información del Complejo Quebradagrande, en el sector sur del Barrio la Sultana, donde el macizo aflora de forma abierta, existen taludes de suficiente extensión y el ambiente tectónico coincide con las situaciones generales de El Tablazo y Santa Helena. No obstante, debe quedar claro que la Sultana es otro lugar y por lo tanto la geometría de las discontinuidades nada tiene que ver con ningún lugar en El Tablazo o Santa Helena, y que esto apenas puede dar una idea sobre la calidad de la roca, parámetro que también mostrará diferencias en los tres lugares por razones litológicas, de alteración y estructurales.

Para la Formación Casabianca, en los taludes de la Renault y la Autónoma, además del sector de Santa Helena y Castilla.



Figura 11. Imágenes para la valoración de la calidad de la roca para el Complejo Quebradagrande, en el sector de La Sultana (Izq) y para la Formación Casabianca en el sector de Santa Helena (Der). Sobre taludes donde afloran ambas formaciones se han estimado estos valores del RQD en 30% y 6%, respectivamente.

Para valorar las *familias de discontinuidades* y su disposición, en la Formación Casabianca se asumen 6 familias, así tres cuasiverticales por disyunciones con base en el mismo criterio que se aplicó para la Formación Manizales: las disyunciones por reducción de volumen durante la consolidación son perpendiculares a los planos de consolidación. La cuarta perpendicular a las anteriores, la explica secuencia de deposición.

Otras dos disyunciones igualmente verticales asociadas a la relajación de esfuerzos durante los procesos de erosión y a efectos de naturaleza tectónica. En la fase de diseño se tendrá la información correspondiente al lugar del Túnel La Avanzada, para proceder con la excavación soportados en datos propios del lugar. No obstante, este macizo se deberá considerar como un verdadero saprofito, a causa de su estado de alteración.

Para las *familias de discontinuidades* y su disposición del Complejo Quebradagrande se ha utilizado el talud sur de la parte alta de la Sultana, por ser un macizo abierto y en ambiente tectónico similar. Esta información nunca suplirá los requerimientos del diseño.

Según la información consignada en el Anexo 2, a partir del levantamiento de 21 discontinuidades primarias sobre una columna de estratos sucesivos de 29 m de extensión, se puede decir que mientras las direcciones se mantuvieron en un rango de 75° , los buzamientos apenas variaron en un rango de 32° . Además, que las discontinuidades secundarias observadas y levantadas con 36 medidas efectuadas en tres planos cuasiortogonales: dos taludes casi perpendiculares y el piso, aunque entrega 3 sistemas de gran persistencia en un mismo cuadrante, diametralmente opuesto al de las discontinuidades primarias, da mayores niveles de dispersión al avanzar con algunas pocas discontinuidades en el cuadrante conjugado que es el mismo de la estratificación- foliación.

Desde el punto de vista geomecánico, la roca presenta una clara anisotropía, ofreciendo tres condiciones de diferente nivel de competencia a los esfuerzos.

Al menos para el caso de la Sultana, donde el plano medio de la estratificación es S40°E mientras dos de planos medios de los tres principales sistemas de fracturas son contrarios y están a 170° horizontales y a 60° y 90° verticales, y el tercero a 120° horizontales de la estratificación y a 50° de las dos familias de fracturas, por lo que la diferencia de buzamientos, respecto a las estructuras señaladas no tienen mayor relevancia.

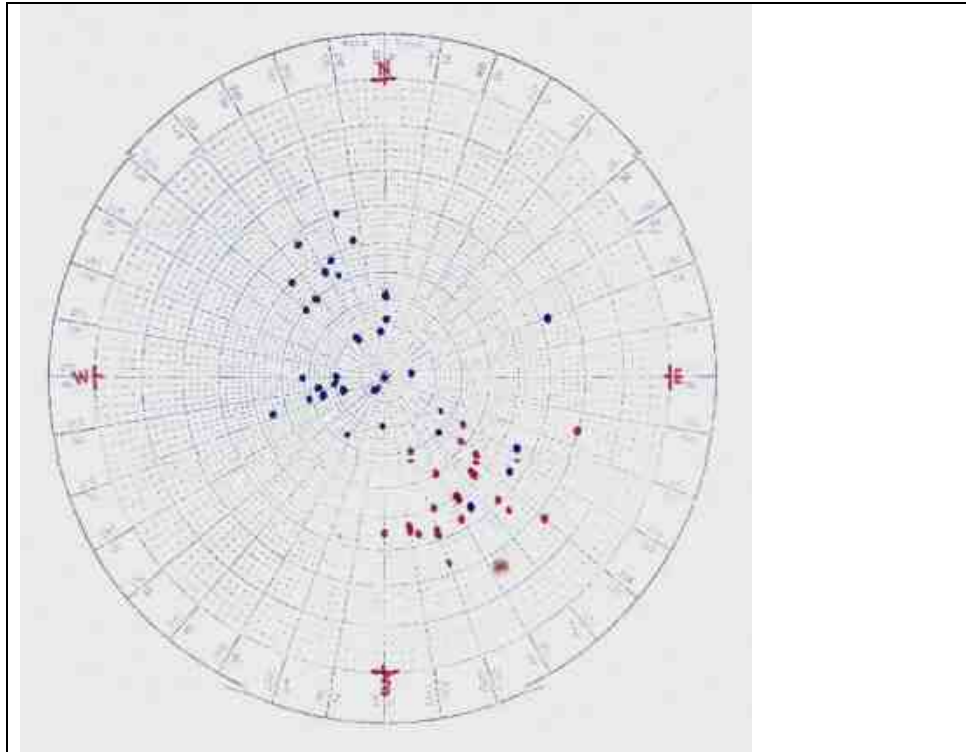


Figura 1m. Diagramas estereográficos del Complejo Quebradagrande: Macizo rocoso de La Sultana; en rojo, planos de estratificación y en azul, planos de fracturamiento.

Ahora, la separación de las discontinuidades secundarias observada en La Sultana varió entre 0,1 y 0,9m y las medias de las medidas de los espaciamientos en los tres sistemas de fracturas con mayor persistencia, varió en torno a esos valores y al tamaño medio de los bloques mayores. El estudio de microzonificación del CIMOC en el mismo Capítulo elabora la Tabla 5.5 en la que finalmente le asigna a la Formación Manizales la Zona III, a la Formación Casabianca la Zona IV y al Complejo Quebradagrande la Zona V, señalando de paso las perforaciones que caracterizan a las dos primeras unidades que se corresponden a rellenos y cenizas respectivamente, y quedando sin ninguna de las perforaciones las tres Unidades Geológicas de las cuales que nos hemos ocupado. Además, en las recomendaciones finales el CIMOC, agrega que la Formación Casabianca – léase Formación Manizales – debe estudiarse en mayor detalle ya que ninguna perforación quedo ubicada allí”. La anotación es nuestra pues es evidente que el literal c del numeral 8.5 se refiere a ella, alas que están dentro de ese rango, y que fue de 0,29 m por 0,22 m por 0,14m sobre una base de 38 bloques encontrados y medidos en un apilamiento del lugar.

- Sobre las perforaciones más profundas en Manizales
-
- El área urbana de Manizales, es deficitaria en perforaciones verticales profundas. Las 10 perforaciones superiores a 30m que ha utilizado el CIMOC para la microzonificación sísmica de la ciudad, son las de la Tabla 1 e:
- En el estudio de Microzonificación Sísmica de Manizales elaborado por el CIMOC, en el Capítulo 5, Investigación Geotécnica, el numeral 5.4, denominado “Caracterización de propiedades de parámetros dinámicos del subsuelo de Manizales”, anuncia que la Formación Manizales se encuentra a profundidades que oscilan entre 25 y 35 m de la superficie, y en algunas zonas a nivel superficial. Sobre dicha unidad sólo dice que su rigidez es notoria con relación a los estratos superficiales. No agrega nada sobre Casabianca, y sobre Quebradagrande apenas alude a alguno de sus elementos constitutivos y al estado de la roca, nada más.

Perforación • Número	Lugar • ar	Latitud • ud °	Longitud • gitud °	Profundidad m • undidad m
• 3	• Infi Manizales Paque de Caldas	• + 5,08	• -75,51	• 40
• 4	• El Cable – Facultad de Arquitectura	• + 5.06	• -75,49	• 40
• 5	• Confamiliares	• +5,07	• -75,50	• 34
• 6	• Atanacio Girardot – Fátima	• +5,06	• -75,50	• 36
• 7	• Barrio Bosques del Norte	• +5,09	• -75,49	• 32
• 10	• Coldeportes	• +5,07	• -75,50	• 40
• 11	• Santa Inés	• +5,05	• -75,48	• 50
• 13	• Catedral de Manizales	• +5,07	• -75,52	• 43
• 19	• La Estampilla	• –	• –	• 33
• 22	• Samaria	• +5,09	• -75,49	• 33
• 24	• Infi Manizales N° 2	• +5,09	• -75,42	• 40

- **Tabla 1e.** Listado las perforaciones profundas con más de 30 m utilizadas por CIMOC. En la Figura 1 a se muestran, con cuadros en rojo, los lugares donde se ubican varias de estas perforaciones.
-

Por lo anterior tampoco parece ser relevante conocer la ubicación de los lugares de sondeos en la Figura 1d., máxime cuando ya se han señalado y cuando la profundidad del túnel Manizales, el de menor certidumbre litológica entre los cinco, llega a los 150 m.

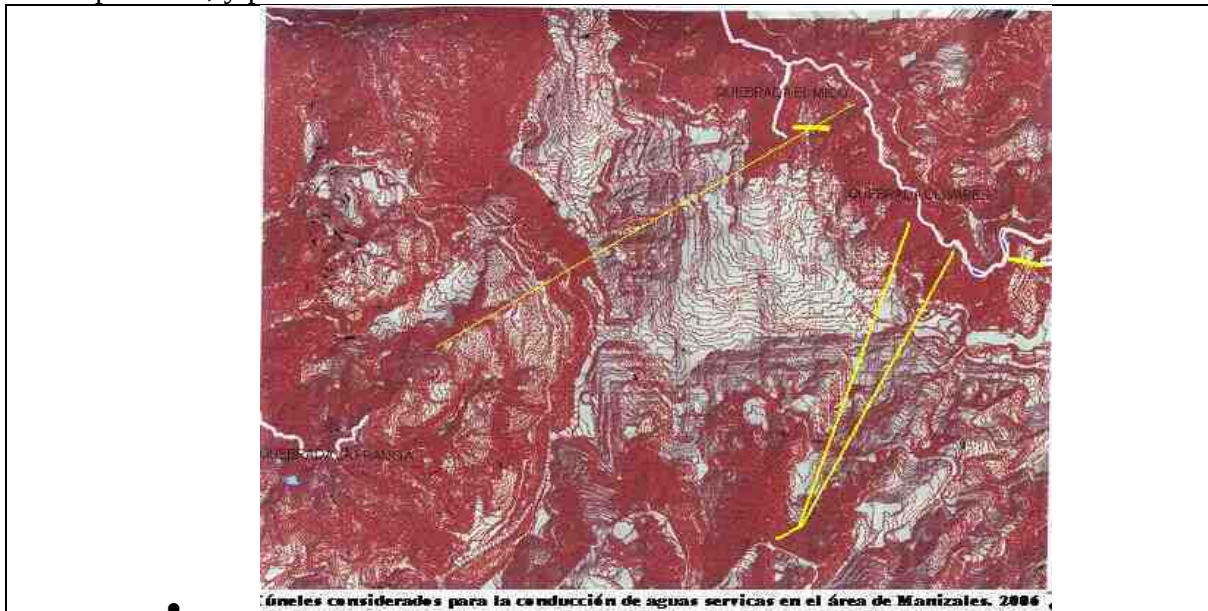
Definición del problema

Para definir la viabilidad técnica el sistema de conducción subterránea adecuado, deben considerarse aspectos geológicos y logísticos, así:

- En lo geológico, la litología y la geología estructural, buscando evitar fallas geológicas en actividad, macizos poco competentes o depósitos de suelos, y encontrar un recorrido profundo para mantener una presión confinante de roca adecuada, que le reste fragilidad al macizo y minimice los efectos hidrogeológicos en superficie, así como las condiciones litológicas que le permitan al macizo rocoso responder de la mejor manera en término de esfuerzos, deformaciones y permeabilidad, habida cuenta de que las rocas en la oferta ambiental del escenario de trabajo son blandas y de tipo conglomerático o metasedimentario.

-Logísticamente, la conducción subterránea principal – El Túnel Manizales- que necesariamente tendrá dirección norte – sur, deberá buscar el centro de gravedad del área aferente, logrando con ello menores diámetros en las conducciones de alimentación que recogen las aguas de la ciudad y llegan al túnel de trasvase. Las conducciones ubicadas en el perímetro de dicha área, están sobre las frágiles laderas más pendientes vecinas a las vaguadas del Río Chinchiná y de la Quebrada Olivares.

Dentro de estas dos restricciones, la geológica y la logística, se buscará un túnel corto que facilite el acceso a los portales y que no genere escenarios de potenciales desastres, en especial en los lugares más susceptibles como lo son las zonas periurbanas ambientalmente más deprimidas, y por lo tanto más vulnerables.



- **Figura 11l.** Túneles considerados para la conducción de aguas servidas en el área urbana de Manizales (en amarillo). Imagen digital tomada a partir de la información suministrada por Aguas de Manizales.

- **II- PARTE ANALÍTICA**

Alcance del estudio

El estudio general que se presenta es a nivel de prefactibilidad y comprende varias etapas, así:

- Etapa N° 1. Se investigará y resolverá la geología para una conducción subterránea, estimando la litología y estructuras probables entre los portales y a lo largo del corredor, a partir de información secundaria y del levantamiento de los portales.
- Etapa N° 2. De ser viable la propuesta, se evaluará la etapa de prospección indirecta y directa, por métodos geofísicos y perforaciones exploratorias complementarias. Estas se señalarán, para saber de ellas en caso de que sean necesarias.
- Etapa N° 3. Si resultare viable el proyecto, se estimarán los definitivos costos de esta opción para compararlas con otras, que no son objeto del trabajo, pero que también se abordarán de forma preliminar.

El alcance de este trabajo está delimitado justamente al Túnel Manizales. También a la calificación de los macizos rocosos y a otras consideraciones posiblemente necesarias.

Descripción de portales opcionales.

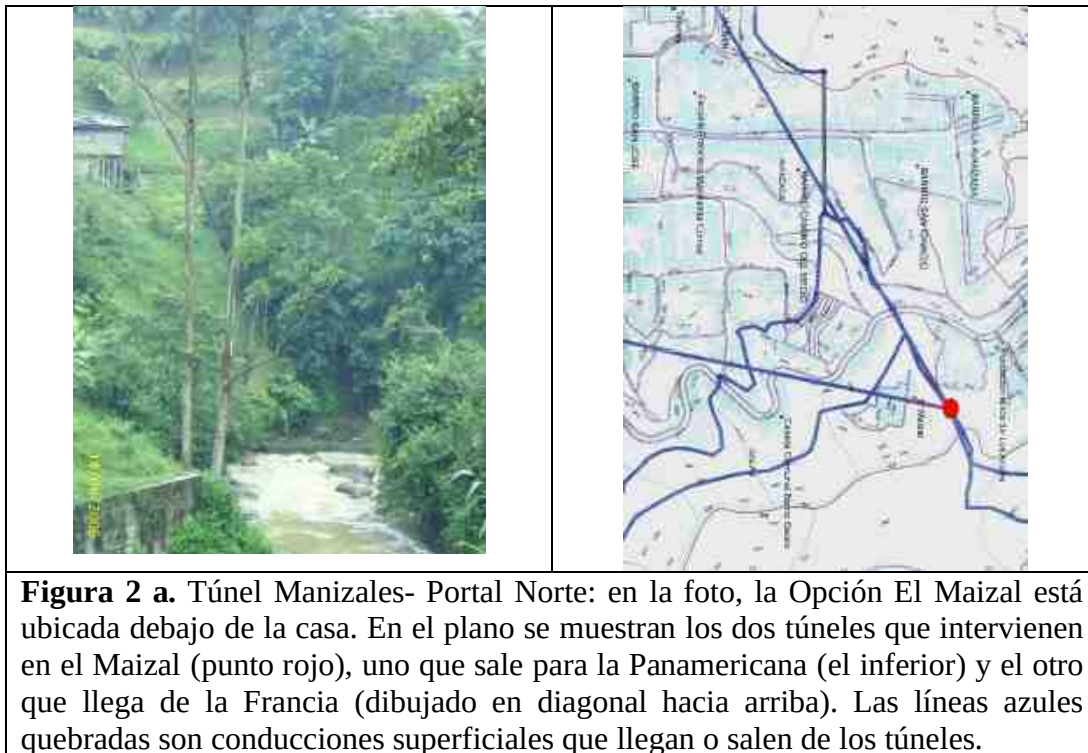
Túnel Manizales- Portal Norte: se estudiaron tres opciones para este portal del túnel: la más oriental en el Barrio Sierramorena y la más occidental en el Barrio El Maizal. La tercera, que es intermedia, en el Barrio Estrada. Además, el sector de El Maizal, se consideró al tiempo como Portal para el Túnel de la Francia.

Geología. La litología de las tres opciones del portal norte, varía: la del Maizal está sobre una formación metasedimentaria- El Complejo Quebradagrande-, cuyos planos de foliación-estratificación dominantes, aparecen cuasinormales al alineamiento del Túnel de la Francia y cuasiparalelos al del Túnel Manizales. Esta, una arcillolita silícea, se observa en las fotografías PIC 0038, PIC 0043 y PIC 0044, buzando 50°NE. Estructuralmente, aparece una falla N20°E que se insinúa en el control del drenaje en la depresión que separa los barrios Campohermoso y La Avanzada, según se observa y deduce a partir de la cartografía suministrada por Aguas de Manizales (Ver Figura 1a y 1d), donde se muestra que esta estructura corta el alineamiento del túnel de forma favorable, 600 m adentro de dicho portal (Ver Figura 2a).

Para los portales Sierramorena y Estrada, la litología es un conglomerado con tendencia a ofrecer una textura clastosoportada –asociada a la Formación Manizales. La matriz es de característica limoarenosa y los bloques, poco meteorizados, difícilmente presentan unidades cuarzosas; esto es, se trata de bloques mayoritariamente andesíticos, y esto define sus características en términos de dureza. Sus diámetros son del orden de los decímetros, aunque

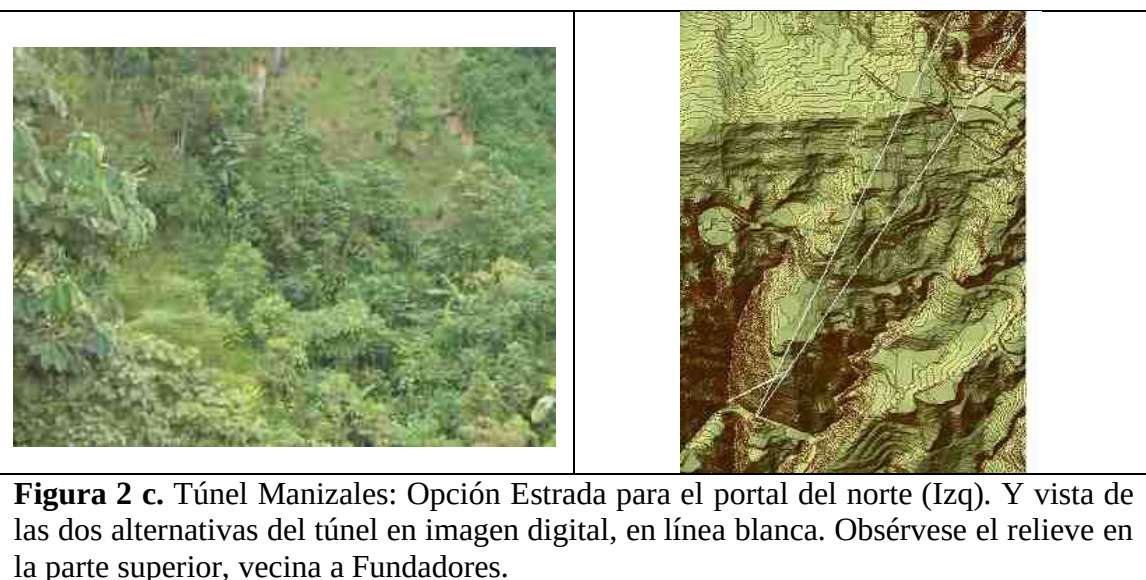
la gradación progresa hacia tamaños menores y mayores, alcanzando con dificultad en los mayores tamaños la dimensión de los primeros metros.

Ambos alineamientos deben marchar hacia el Portal de La Panamericana, y no al de La Fuente ni al de Marmato, porque estos dos, que son los de la salida del túnel, caen en drenajes afectados por fallas que aparecen cartografiadas en la información suministrada por Aguas de Manizales (Ver Figura 1d y Anexo 6). El macizo del portal del Barrio Estrada presenta mejores condiciones morfológicas que el de Sierramorena en virtud de la geometría de las laderas contiguas, y avanza bajo una cobertura de roca que anuncia menos problemas si se le compara con la expresión topográfica del alineamiento partiendo desde Sierramorena. Sierramorena muestra una ladera deprimida al costado oriental del portal, pues el drenaje transcurre paralelo y próximo al túnel durante 220 m. Además, al este del Portal Sierramorena las líneas de drenaje de Sierramorena, La Renault y Castilla, que son las quebradas contiguas, en su base muestran control estructural.



Si bien el Barrio Estrada ofrece un portal franco y con posibilidades de acceso por la vía a Neira frente a Corinto, salvando la Quebrada Olivares, este alineamiento, que pasa por debajo del costado occidental de Fundadores, sugiere eventuales problemas de estabilidad por cruzar en medio de dos trazos cartografiados de lo que puede ser una misma falla sin suficiente expresión morfológica, y quedando la zona de interferencia ubicada a 460 m de este portal (Ver figura 2b). A su vez, el alineamiento que va desde Sierramorena al portal de la Panamericana, el cual cruza profundo por el costado oriental de Fundadores, se muestra libre

de cruces con fallas cartografiadas, pero muestra en superficie que su construcción puede enfrentar eventuales problemas asociados a las grandes depresiones del terreno, justo al norte y al sur de Fundadores, que son las que explican el fin del reticulado urbano donde nace la Avenida Santander, la que en su momento fuera llamada El Carretero. (Ver Figura 2c) Debe subrayarse que el techo de roca en los portales Estrada y Sierramorena alcanzan los 38m y los 24m a los primeros 50 m de recorrido, pues el talud de entrada tiene una pendiente media del 76% y del 70%, respectivamente. La profundidad máxima del túnel llega a unos 150 m y el rumbo es cercano a la dirección $S70^{\circ}W$, desde el portal del Barrio Estrada.



Túnel Manizales- Portal Sur: se estudiaron tres opciones para este portal del túnel: la más oriental en el Barrio Villa Carmenza y la más occidental en el Barrio Marmato. La tercera, que es intermedia, en el Barrio La Panamericana.

Geología. Las tres opciones del portal sur presentan singulares condiciones litológicas: depósitos conglomeráticos con una matriz de características plásticas, que incluso llega a aproximarse en sus características a la formación Casabianca, en la vecindad de la falla del drenaje oriental, como si allí fuera material colapsado proveniente del contacto entre la Formación Manizales y la Formación Casabianca que está más arriba, pues este se observa 20 metros por arriba de la vía Panamericana en la zona del portal. Es de advertir que los bloques del conglomerado muestran mayor grado de meteorización si se comparan con los del Barrio Estrada y también, que los bloques granodioríticos presentes en esta Formación, es algo significativa pero no dominante. Los tamaños medios igualmente son del orden de los decímetros. Puede reportarse que Casabianca también aflora en la parte alta del Barrio Estrada y de Renault.

El portal de la Fuente queda ubicado sobre la reconocida Falla San Esteban; además la escasa carga litostática que ofrece está representada por un relleno artificial que adelanta la empresa EMAS de la Ciudad, sobre la vaguada de la quebrada que separa los Barrios los Andes y el Paraíso, aguas debajo de los Arrayanes.

El portal del Barrio Marmato ofrece un alineamiento de un túnel cuasiparalelo a los dos trazos de una falla alineados y que están cartografiados en la información suministrada por Aguas de Manizales. Logísticamente no tiene las ventajas del Portal Panamericana. Además el portal del Barrio Marmato presenta un macizo de regular conformación en virtud de la geometría del drenaje circundante, el que avanza desfavorablemente sobre el terreno en los primeros 200m por encima del alineamiento del túnel Manizales.

El Portal Panamericana queda localizado sobre la variante norte de la Ciudad y se ha ubicado a prudente distancia de la Falla San Esteban, la misma que separa los barrios Los Andes y El Paraíso. También el Portal Panamericana está a distancia de la falla que explica el drenaje al sur del Barrio Marmato, falla que está cartografiada en la información de Aguas de Manizales y que se dirige hacia el Puente Olivares.

El macizo rocoso del Portal Panamericana, en caso de túnel recto -pues se sugiere un desvío del túnel cerca de este portal de salida-, tiene una pendiente menos pronunciada que la del Portal Estrada y anuncia movimientos superficiales; su valor medio en los primeros 50m alcanza el 54% y la carga litostática 32m, en esa misma distancia; además en estos metros el estado del macizo aparece deficiente: el nivel freático aflora pocos metros por arriba del nivel de la Panamericana y los deslizamientos en masa son casi planares (Ver Figura 2f y anexo 2). Como el talud frontal está fallado, se sugiere un desvío hacia el occidente, pero sólo al final del alineamiento, para obtener un trazo no recto. O en su defecto un falso túnel hasta los primeros 50 m adentro, estructura que ayudaría para que el túnel alcance el macizo en condiciones más adecuadas, pero no iguales a las del Portal Sierramorena, pues el ambiente tectónico periférico intenso y la litología más superficial de la unidad litológica de esta roca en este portal sur, es más desfavorable que en el del norte.

Es de advertir que no se encontró en el Portal Panamericana la presencia de suelos blancos expansivos, ni siquiera en las vecindades de este lugar; circunstancia relevante cuando se deba abordar el problema de estabilidad en la Formación Casabianca, muy vecina al techo del macizo en la zona del portal. También que el color café de la matriz del macizo para el portal, es propia de la Formación Manizales.



Figura 2 d. Túnel Manizales- Plano con las opciones de sitios para el portal de salida en el Sur, para el Túnel Manizales: en amarillo Marmato, en Rojo la Panamericana y en Verde Villa Carmenza. Las rectas azules son posibles alineamientos del Túnel Manizales; la línea azul sinuosa, es la conducción superficial para que el flujo siga hacia la planta de tratamiento. En naranja, las fallas que afectarían los portales laterales.



Figura 2 e. Túnel Manizales- Portal Sur: Fotos de la Opción en Marmato, ubicada en el tercio inferior de la foto (Izq) y de la opción en Villa Carmenza que se ubica bajo una escombrera (Der). Las dos opciones coinciden con trazos de fallas geológicas de fuerte expresión morfológica: La Falla Manizales Aranzazu y la Falla San Esteban o Cementerio.



Figura 2 f. Túnel Manizales- Portal Sur: Opción Panamericana. El macizo rocoso presenta mejores condiciones para la salida del túnel hacia el costado occidental, por el tercio izquierdo de la foto. Esto supone que el túnel debe quebrar su alineamiento recto, una centena de metros o más antes de salir.

Características geomecánicas de las rocas

El tipo de túneles de los cuales nos ocupamos está definido por las siguientes características: se trata de túneles de pequeño diámetro en dos clases de rocas blandas, una de tipo conglomerado (Formación Manizales o Formación Casabianca) y otra y foliada (Complejo Quebradagrande). Ver Figuras 2n, 2ñ y 2o.



Figura 2n. Macizos en metasedimentos del Complejo Quebradagrande. Talud de la parte alta al sur de la Sultana. La tendencia a las formas en lámina y la fuerte inclinación sin llegar al volcamiento, están aquí bien representadas, pero no lo están las variaciones litológicas. El intenso fracturamiento es apenas una tendencia de valor local y una evidencia de la baja competencia de la roca.

Las siguientes son las características geotécnicas de los macizos rocosos, cuando éstos interfieren las formaciones Manizales y Casabianca, y al Complejo Metasedimentario.

La Formación Manizales que se desarrolla en facies sedimentarias alternas y variadas, muestra en los puntos de interés para este trabajo, bloques con diámetros del orden de los decímetros y una matriz limoarenosa o arenolimosa, de permeabilidad baja a moderada, según el caso; además los bloques tienen una gradación aceptablemente buena, por lo que la densidad es relativamente alta o media, y estadísticamente el depósito aparece según el caso, con textura casi clastosoportada o matriz soportada, de acuerdo al lugar. En nuestro caso, aludimos al túnel Manizales y las condiciones favorables de la doble alternativa aplican para su portal norte.

Llama la atención que siendo la cota de este portal de entrada en Olivares superior a la del Portal Panamericana que es de salida, en casi cuatro decenas de metros, el macizo rocoso ofrezca al norte la base de la Formación Manizales y al sur su techo. Entonces, ¿por qué no existe alineamiento estructural E-W cortando el eje del túnel? Además, para el túnel Manizales, deberá tenerse en cuenta esto y la mejor calidad del macizo en el portal de entrada que en el de salida.

Sobre la calidad del macizo, aunque por su condición sedimentaria pareciera deficiente, otros hechos como la considerable altura de los taludes en el escarpe de Chipre, la Francia y el de la parte occidental de la Quebrada Olivares, señalan lo contrario. Cuenta en esto su origen torrencial vulcanoclástico, bajo nivel de alteración, el grado de consolidación y la cementación, aunque sea de bajo grado. Sobre el drenaje de la Formación Manizales, la favorecen, además del fallamiento y la profundidad del drenaje mayor, el efecto de capa sello de la Formación Casabianca que lo suprayace.



Figura 2ñ. Formación Manizales: en la banca del FFCC por Villamaría, (Izq) y en la Panamericana (Der). La proporción matriz contra bloques, el color de la matriz, y los tamaños dominantes como las formas isométricas subredondeadas, están bien representadas.



Figura 2o. Formación Casabianca: aunque la clasificación da esta unidad como roca Clase V, realmente debería calificarse Clase VI. Esta imagen muestra un estado más alterado de lo que se espera de esta unidad. A la izquierda, afloramiento en Villa Carmenza Casabianca donde muestra un suelo residual que ilustra bien su origen conglomerático. A la derecha, los suelos blancos expansivos en el sector de San Rafael.

Para las disyunciones, en virtud de la deficiencia en la información el modelo a seguir es el que presenta Belousov en su texto Geología estructural, cuando comenta en los depósitos lávicos, cómo se desarrollan aquellas durante su solidificación a causa los esfuerzos de tensión dependiendo su geometría de las características del material y de los planos de mayor tensión; de similar manera a las de los yacimientos lávicos que son preferentemente de forma hexagonal y con dirección perpendicular a las ondas de enfriamiento, asumiremos se presentan las disyunciones sedimentarias por contracción de la masa durante su consolidación en este caso, aunque éstas tendrían también la tendencia a formar bloques cuando los depósitos resulten de menor potencia. Además, si el yacimiento es de textura entrabada, es evidente que la rugosidad es elevada y no lisa como sí ocurre en las disyunciones tectónicas, puesto que en nuestro caso los bloques no se cizallan y sí se separan por la tracción generada durante la retracción de la masa, al producirse una fractura intergranular como resultado de la menor resistencia ofrecida por la matriz, en comparación con la de los bloques (Ver Figura 2r). En consecuencia, el número familias de discontinuidades genéticas para estos conglomerados de naturaleza poligénica es de 4, así: 3 en un plano cuasivertical, y 1 más perpendicular a ellas con disposición cuasihorizontal y que es el de la estratificación.

Análisis fotogeológico estructural

Con el objeto de valorar la información de la cartografía estructural disponible y de buscar una explicación a las preguntas surgidas sobre las características del macizo rocoso del Túnel Manizales, se hizo una valoración fotogeológica de las estructuras del orden regional que alcanzan la zona de estudio, centrando la atención en el sector urbano de Manizales. Existen trazos estructurales no comunes entre las diferentes fuentes consultadas, y eso es lo propio de la ciencia, donde la visión del mundo es diferente para cada observador, pero donde el conocimiento es acumulativo (Ver anexo 6).

El material a contrastar es el de lineamientos estructurales de Manizales suministrado por la Empresa Aguas de Manizales, y los trabajos de Naranjo y Ríos y de Velásquez y Hermelín, citados en la bibliografía, y el material utilizado para esta actividad fue un conjunto de 3 pares fotográficos con las siguientes denominaciones y características.

- Línea de vuelo C-2275 fotos N° 66 y 67 a escala aproximada 1:22500 del año 1987.
- Línea de vuelo C-2277 fotos N° 40, 41, y 42 a escala aproximada 1:3000 del año 1987.

Por razones metodológicas, se usaron estas fotografías de escala regional suficiente, para el fin que se persigue y para cubrir la zona de mayor interés: la del Túnel Manizales. El resultado del trabajo de fotointerpretación que aquí se presenta, corresponde a un modelo teórico que, para el efecto, es el de identificar los lineamientos que respondan a un patrón de fracturamiento bidireccional, para encontrar con este los rasgos morfotectónicos correspondientes y compararlos con los lineamientos considerados en la zona del proyecto.

Los resultados son los siguientes:

Las direcciones del patrón observadas en las fotografías, son para este caso, N - S y N45°E. Este patrón responde a los esfuerzos de un sistema compresional E-W, el mismo que explica el levantamiento de Manizales observado en el escarpe de Chipre, al costado occidental de la ciudad. Evidentemente los campos generales de esfuerzos producen sistemas de fracturas con tendencias generales, las que, en virtud de la heterogeneidad de las unidades geológicas y de la presencia de otras fuentes de esfuerzos locales, generan variaciones entre las fracturas de un mismo patrón. Las intrusiones ígneas, por ejemplo, pueden generar estos disturbios.

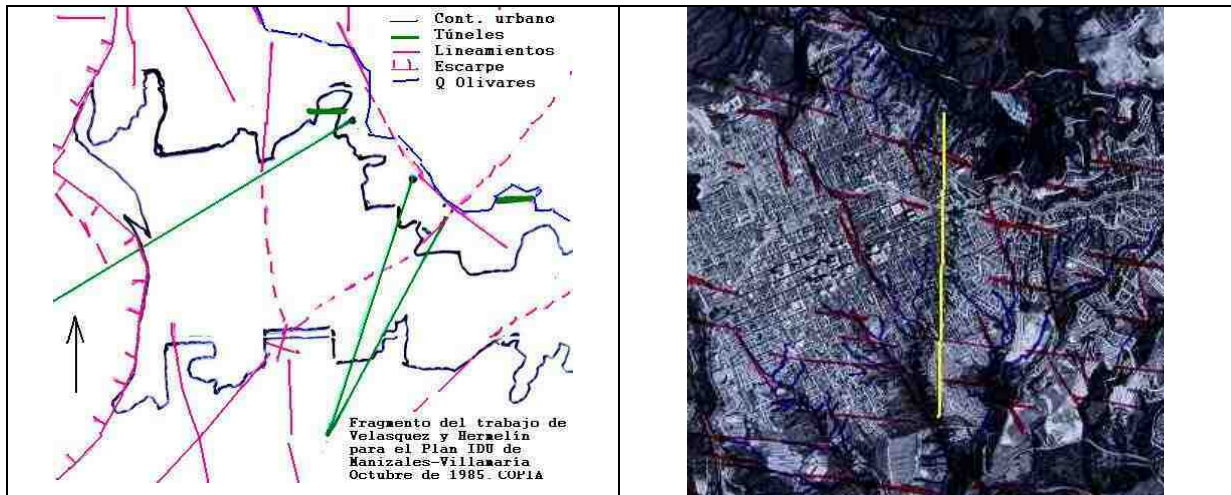


Figura 2p. Copia adaptada del plano con lineamientos estructurales según Velásquez y Hermelín (Izq) y fotografía con los trazos del patrón bidireccional de lineamientos en la zona de estudio dibujados en rojo (Der). Obsérvese en ambas imágenes la situación del Túnel Manizales, que en el plano aparece en verde sus dos opciones formando una V, y por el centro de la foto como una línea recta amarilla y vertical.

Respecto a la incidencia de los lineamientos identificados con el patrón bidireccional, sobre la zona del proyecto, y cuyo resultado se consigna en los anexos del trabajo, se concluye lo siguiente:

Hay lineamientos no explicados en el trabajo de Aguas de Manizales, cuya dirección es $N30^{\circ}E$ y cuyos trazos van paralelos al Túnel Manizales de la alternativa 2. Estos trazos estructurales dejan un claro por el cual transcurre el alineamiento del Túnel Manizales de la primera opción.

Entran al sistema los lineamientos estructurales con dirección $N45^{\circ}W$ aportados en este estudio, aunque con carácter propositivo, y los cuales cortan las dos alternativas del Túnel Manizales, en cuatro partes por lo menos. Esto podría explicar la hipótesis ya mencionada de un posible bloque levantado en el sector de Fundadores.

Con relación al trabajo de Naranjo, este estudio coincide con la identificación de un trazo que responde al patrón con dirección $N45^{\circ}W$, el cual corta transversalmente las alternativas del Túnel Manizales en el sector de Fundadores.

En el trabajo de Velásquez y Hermelín aparece un trazo punteado (inferido) con dirección $N45^{\circ}E$ que cruza la primera alternativa del Túnel Manizales, el cual sugiere que los dos trazos discontinuos de la información de Aguas de Manizales, podrían tener continuidad

Del sistema N – S, donde la Falla Manizales Aranzazu es común para todos, entraría un alineamiento no considerado cruzando el sector de fundadores y por lo tanto a las dos alternativas del Túnel Manizales.

Clasificación de los macizos

Intentando clasificar los macizos como cuerpos fisurados, para obtener una idea de su competencia estructural, con fundamento en el denominado Índice de Calidad de Túneles NGI, cuyo valor numérico, según Barton Lien y Lunde, está dado por Q, mediante la siguiente expresión:

$$Q = (RQD/J_n)(J_r/J_a)(J_w/SRF)$$

Donde los 6 parámetros para Q, son:

- RQD es el parámetro o Índice de calidad de la roca (Deere) valorado de 0 en las muy malas, hasta 100 en las rocas sanas y excelentes.
- J_n es el parámetro que califica el número de familias de discontinuidades, valorado entre 0,5 si casi faltan, hasta 20 para multitud de ellas.
- J_r es el parámetro que califica la rugosidad en las fisuras y varía de 4 si es óptima la rugosidad o discontinua la fisura, hasta 0,5 si es un reliz de falla.
- J_a es el parámetro que variando de 0 a 12, califica el relleno de las discontinuidades. Éste vale 1 en paredes inalteradas, y 4 en paredes rellenas.
- J_w es el parámetro que mide la presión de poros y varía desde 0 cuando las fisuras están con flujo continuo a presión, hasta 1 si están casi secas.
- SRF que es el Factor de reducción de esfuerzos. Se valora entre 0 y 20. Vale 20 en rocas muy expansivas y activas. Vale 10 si hay múltiples zonas de debilidad. Vale 1 si la roca es bien competente y el esfuerzo mediano; de ser alto valdría 5 y de ser bajo 2,5.

Simplificando, el Parámetro Q de Barton depende de 3 factores así: el Tamaño de los bloques ((RQD/J_n)), la Resistencia al esfuerzo cortante entre bloques (J_r/J_a) y los Esfuerzos activos al interior del macizo (J_w/SRF)

Parámetro Q de Barton								
	Roca							
F Mz	RQD	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF	Q	Clas. Barton
6	60	12	3	2	0.8	7	0,825	Muy mala
20								
1.3								
6								
0.4								
12								
0,002								
Exce/t e mala								

C Qg
30
15
0,5
4
0.2
5
0,011
Extr/t
e

Tabla 2a. Valores asignados a los factores para obtener el parámetro Q de Barton, en las rocas de los macizos en estudio.

Para la Formación Manizales, si se hiciera una analogía con un macizo fracturado, para obtener el Índice NGI, el tamaño de los bloques sería de 5, la resistencia al esfuerzo cortante entre bloques, cercano a 1,5 y los esfuerzos activos del orden de 0,11. Así el valor de Q llegaría a 0,825.

La Formación Casabianca se muestra como un conglomerado saprolitizado, en donde el Índice NGI podría ser calculado con tamaños de bloques de 0,3, una resistencia al cortante entre bloque de 0,22, y los esfuerzos activos del orden de 0,03; con esto el valor de Q llegaría a 0,002, una cantidad que anuncia una roca inferior a la anterior en dos órdenes. Además, Casabianca muestra localmente suelos blancos expansivos cuya génesis puede asociarse a limos que son el resultado de la alteración de rocas en un clima húmedo mal drenado, y éste seguramente fue el ambiente de la era glacial.

El Complejo Quebradagrande de naturaleza metasedimentaria muestra variaciones significativas donde se intercalan lavas básicas con espesores de decímetros a metros, chert, limolitas y arcillolitas de similar potencia, y cuyo fracturamiento depende en sumo grado del nivel de disturbio y grado de volcamiento o plegamiento que localmente muestre, los que se acentúan en las proximidades de fallas. El Índice NGI para esta roca puede partir de estimativos como los siguientes: 2,7 para el tamaño de bloques, 0,13 para el cortante entre bloques y 0,04 para los esfuerzos activos; así el valor de Q sería 0,011. Esto es, la roca en general ofrece una calidad inferior en casi un orden a la de la Formación Manizales y superior en un orden a las de Casabianca. No obstante, debe señalarse que los materiales de naturaleza carbonosa o grafitosa presentes en este Complejo, son altamente degradables, por lo que el recubrimiento con concreto lanzado debe proceder en el término de pocas horas.

A partir de estos estimativos, aplicando la teoría de Barton, Lien y Lunde, se podrían tener también un par de parámetros: el ***tiempo de sostén*** de un claro de la excavación sin ademe y ***la carga de roca*** en términos del diámetro de la galería sobre su techo, suponiéndola de igual ancho y altura. El primero para efectos constructivos, pues es evidente que la calidad de la roca no ofrece autosostate, como ocurre con la roca sana y competente, que siempre supera al concreto y casi iguala al acero. El segundo para estimar el soporte requerido en el techo del túnel.

Estudio de la estabilidad

Para los autores señalados, Barton et al., se tendría lo siguiente:

- La Formación Manizales con.....Q=0,825 es Muy mala,

- La Formación Casabianca con..... $Q=0,002$ es Excepcionalmente mala y,
- El Complejo Quebradagrande con.. $Q=0,011$ es Extremadamente malo.

Sobre los Factores de Seguridad, FS, en túneles, se puede decir que ellos varían entre 7 y 8 para casas de máquinas y estaciones de metro, hasta 0,9 en las minas si la excavación es provisional. Además, en las minas hay procesos de avance del frente y extracción de materiales: en el primero el factor de seguridad es 3 y en el de extracción varía de 0,7 a 0,9, lo que supone que las características del macizo son malas y se puede utilizar poca voladura obteniendo economías.

Si asociamos el destino o utilidad que habrá de tener un túnel, a un parámetro numérico, surge la Relación de Soporte de Excavación ESR: este nuevo parámetro, análogo al inverso del factor de seguridad del túnel, varía entre 5 para los de poca relevancia o de categoría A, y 0.8 si aquella excavación es tipo E o de carácter vital.

Además: también interesa conocer qué pasa en los macizos de roca blanda, con la profundidad de los túneles, cuando es poca y se acerca a la superficie, o cuando se profundiza y el techo de roca es muy alto: En general, para el primer caso, por la falta de presión confinante puede ocurrir que falle el macizo, y esto es de interés para los portales. En el segundo caso, cuando la excavación es profunda, debe verificarse el Riesgo de Plastificación del Macizo, y ésta se da si la presión litológica supera la resistencia a la compresión inconfiada de la roca. Para nuestros casos las mayores profundidades serán de 150m, valor que multiplicado por el peso unitario promedio de las rocas PU cercano a $2,1 \text{ t/m}^3$ (con una desviación de $0,2 \text{ t/m}^3$), da presiones del orden de 315 t/m^2 equivalentes a $31,5 \text{ kg/cm}^2$ (ambas con más o menos un error del 10 %). Este valor es inferior a lo que se espera en las rocas en la F. Manizales y en el C. Quebradagrande, donde los túneles son profundos. Ahora, para el peor de los macizos, el de la F. Casabianca interesa la presión de roca: a una profundidad de unos 40 m y con el mismo PU ésta vale unos $8,4 \text{ kg/cm}^2$, por lo que puede darse la plastificación y habrá que prevenirla. Se recuerda que Casabianca en el interior del macizo puede estar cercano al límite entre roca y suelo, y éste es 10 kg/cm^2 . Los valores aportados por Aquaterra, Tabla 1a, en resistencia sólo llegan a valores muy inferiores. En la Figura 2s se pueden ver valores para rocas clase E según Deere, y de seguro Casabianca en la roca intacta, difícilmente entra a este rango.

Lo anterior en lo relacionado con la plastificación, únicamente. También debe darse otra condición para túneles profundos. Experimentalmente se sabe que en las excavaciones el límite de la relación entre la presión de carga y el esfuerzo a la ruptura de la roca es 0,2. Esto equivale a aplicar un Factor de Seguridad FS, de 5, por lo que habrá que mantener cuidado con lo que ocurra en el Túnel El Tablazo, hacia la zona de su tercio medio, donde la profundidad se hace mayor. Para el Túnel Manizales, posiblemente se satisfaga con holgura esta condición, la cual se verificará después de las perforaciones exploratorias, puesto que se tendrá que saber sobre cuál es la roca y cual su resistencia en la zona profunda de Fundadores. (Manual de Geología para Ingenieros, El Macizo Rocos. GDE). Aunque se han dado en tablas con valores de la resistencia

Ahora bien, según estos autores la categoría de la excavación que nos ocupa entraría a ser apenas del tipo B; esto significa que el ESR apenas sería cercano y superior a 1,3 de acuerdo

a su importancia, pues la utilidad en nuestro caso es asimilable a la de túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas. Así el parámetro denominado Relación de Soporte de Excavación ESR para nuestros túneles tendrá asignado un valor de 1,6. Entonces:

Nuestros túneles para Barton son Tipo B y su ESR es 1,6

Además, para estos autores, Barton et al, la calidad de las rocas se califica con el parámetro Q, quedando todas ellas en la categoría de rocas malas de la primera parte, así:

Q	0.001-0.01	0.01-0.1	0.1-1	1-4	Q	4-10	10-40	40-100	100-400
Calidad	Exce/te mala	Extr/te mala	Muy mala	Mala	Calidad	Regular	Buena	Muy Buena	Extr/te Buena
	F.Cb=0,002	C.Qg=0,011	F.Mz=0,825						

Tabla 2b. Calificación del estado de la roca en el macizo, según el valor Q del Índice de Calidad de Túneles (NGI)

A partir de lo anterior, se puede demostrar el requerimiento del ademe, así: el Diámetro Equivalente D_e se podrá obtener dividiendo el diámetro ϕ de la excavación expresado en metros, por el ESR. Esto es:

$$D_e = \phi / ESR$$

Si ésta es de $\phi = 2,20\text{m}$, entonces el diámetro equivalente D_e vale 1,375. En el ábaco de Hoek and Brown adjunto, donde se entra con los parámetros Q y D_e para conocer la posición del túnel, se encuentra que dos de los macizos quedan por el lado problemático de la Línea de Autosoprote, requiriendo de él. Únicamente se salva la F. Manizales.

Para $D_e = 1,325$ y los valores de Q de la Tabla 2, se estima el requerimiento o no de ademe, con el siguiente ábaco o con la ecuación:

$$\log D_e = 0,3807 \log Q + 0,3532$$

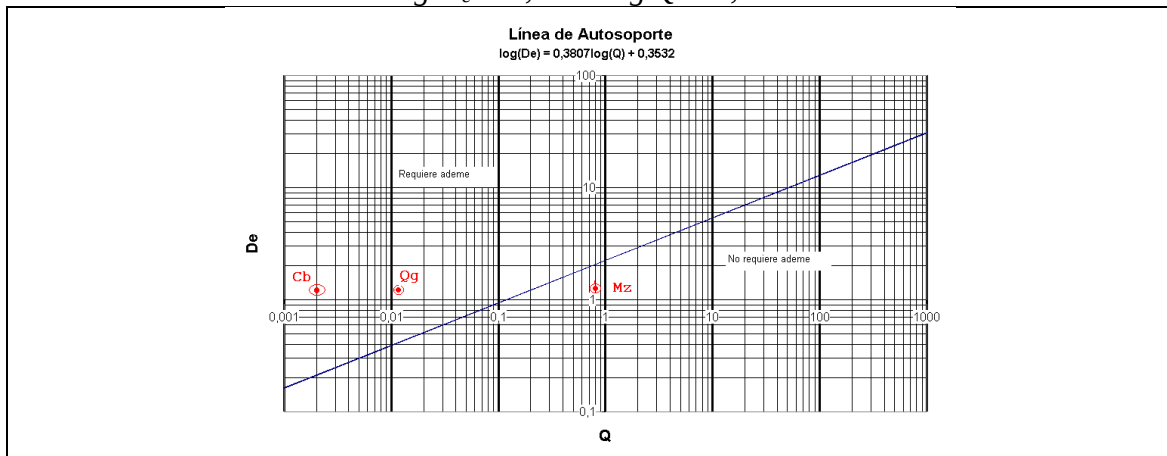


Figura 2q. Línea de Autosoprote Q contra D_e , mostrando la situación favorable de la Formación Manizales, la misma que puede explicar el comportamiento exitoso de las conducciones a las plantas menores de la CHEC construidas en las zonas más expuestas del macizo, con tramos significativos y sin recubrimiento, y estables después de unos 70 años de servicio.

Efectuando el cálculo respectivo, se obtiene:

Unidad	Q	D_e demandado	$\log D_e = 0,3807 \log Q + 0,3532$	Valor del D_e en el ábaco	Diagnóstico para saber si requiere o no ademe
F Mz	0,825	1,325	0,32139	2,1	$2,1 > 1,325$ No requiere
F Cb	0,002	1,325	-0,67430	0,21	$0,21 < 1,325$ Si requiere
C Qg	0,011	1,325	-0,39244	0,41	$0,41 < 1,325$ Si requiere

Esto es: la Formación Manizales está por debajo de la curva y no requiere soporte, la Formación Casabianca está por encima y requiere soporte, y el Complejo Quebradagrande también está por encima y lo requiere.

La Carga de Roca

La Carga de Roca por regla general, se estima hasta donde la galería afecta al macizo rocoso en lo alto del techo, y esto depende de la calidad de la roca y de la geometría de la excavación (Figura 2r). Si el suelo es sobreconsolidado aparecerán esfuerzos horizontales sobre las paredes; si se da flujo y esfuerzos hidrostáticos en el piso por exceso de presión de poros, este se levanta. Así que la forma abovedada por todos los costados, como lo es la circular, contrarresta esfuerzos en todas las direcciones.

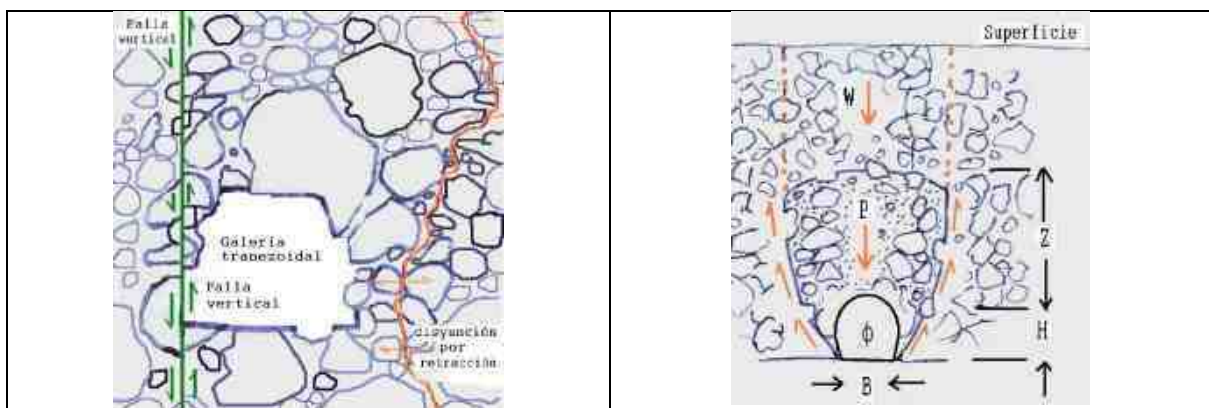


Figura 2r. Conceptos sobre forma de las discontinuidades según su naturaleza (Izq) y Carga de Roca P según la altura Z sobre el techo de una galería de diámetro Φ dado. La forma trapezoidal con inclinación 1 a 4 de los hastiales, presenta ventajas estructurales. La sección en herradura las mejora, pero la circular supera a todas. La baja calidad de un macizo crítico como el de la F. Cb se resuelve con marcos de acero continuos, recubrimiento suficiente,

menor diámetro posible y sección circular. Para excavación en el C. Qg, además de marcos y recubrimiento menos intenso, con anclajes estándar. La F. Mz aunque se encuentre en buen estado y ofrezca autosoporte en diámetros inferiores a 3m, también merece refuerzo adicional.

Es difícil saber si los procesos de construcción y destrucción del paleorelieve han generado suelos sobreconsolidados, pero de haber sido así, asumimos que estando en la Formación Manizales, poco aplica, mientras en la Formación Casabianca sí; pero por la poca profundidad de las excavaciones en este particular caso, la magnitud de los esfuerzos no conlleva consideraciones adicionales.

Ahora, para efectos de conocer la demanda de refuerzo por deficiencias de autosoporte, en especial tratándose de rocas blandas, De aquí que, en todos los casos, antes que al menos se sugiera una galería de sección en herradura, o de sección trapezoidal, para las siguientes Cargas de Roca, Z, estimadas según Terzaghi (Figura 2r), para H igual a B, en los siguientes valores según el macizo:

Para la Formación Manizales, que es el de características superiores entre las rocas que nos ocupan, dado que el estado de la roca es 5 según Terzaghi:

- $Z = 0,5(B+H)$, entonces $Z = 1$ vez la altura de la galería.

Para la Formación Casabianca, que es el de características más malas entre las de los macizos estudiados, dado que el estado de la roca está entre 7 y 8 según Terzaghi:

- $Z = 2,2(B+H)$, entonces $Z = 4,4$ veces la altura de la galería.

Para el Complejo Quebradagrande, que es de características intermedias entre las rocas que se han considerado aquí, dado que el estado de la roca es 6 según Terzaghi:

- $Z = 1,1(B+H)$, entonces $Z = 2,2$ veces la altura de la galería.

Es evidente que la teoría de soportes desconoce la actitud del Macizo, pero en los casos que nos ocupa, ésta, la del Complejo Quebradagrande en la zona de los túneles, es la más favorable, puesto que los rumbos de las discontinuidades primarias son casi normales al del túnel y sus buzamientos muy pronunciados.

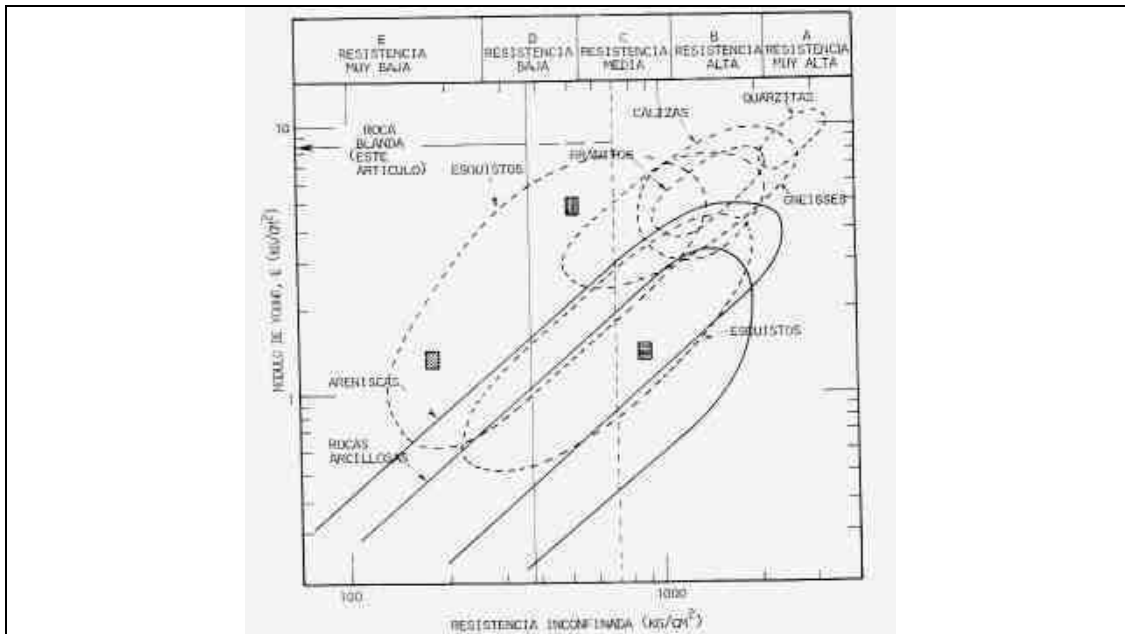


Figura 2s. Clasificación de rocas según Deere. Resistencia inconfiada contra Módulo de Young, dibujadas en escalas logarítmicas Las rocas blandas son las que presentan resistencias menores que 375 kg/cm^2 . Casabianca estaría afuera del cuadro, más a la izquierda y por abajo del extremo inferior izquierdo. Fuente: Alberto S Nieto. Caracterización Geotécnica de Macizos de Roca Blanda. SIMR&SCG. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Bogotá. 1982

En el caso de los cinco túneles se sugieren dos diámetros cercanos a los dos metros. El Túnel Manizales no podrá exceder los tres metros de diámetro para mantener su condición de autoaporte. El mayor para los túneles largos y el menor para los cortos. En los primeros, la demanda de espacio para extracción de aire y ventilación, como para operaciones logísticas, es mayor.

Para el tiempo de autoaporte se utilizará la Clasificación de Bieniawski, o clasificación CSIR para macizos rocosos fisurados, basado en 5 parámetros como son:

- A- La resistencia de la roca inalterada según Deere y Miller
- B- El Índice de calidad de roca RQD según Deere.
- C- El espaciamiento de las discontinuidades fisuras
- D- El estado de las fisuras (rugosidad, relleno, persistencia)
- E- El estado del agua subterránea (presión, caudal).

El SCIR valora el parámetro A con la resistencia a la compresión inconfiada entre 0 y 15. Los valores menores de 2 se dan por debajo de 250 kg/cm^2 , 7 entre 500 y 1000 kg/cm^2 , y 15 cuando supera 2000 kg/cm^2 .

Esa resistencia expresada en kg/cm^2 , para limolitas y carbones está entre 250 y 500, y para areniscas pizarras y lutitas entre 500 y 1000. Ahí están nuestras rocas, pero en estado sano; si lo fuera en el alterado, sería inferior en un orden o más. Asignaremos los valores para las

Formaciones Manizales y Casabianca y para el Complejo Quebradagrande, en 3, 1 y 2, respectivamente.

El parámetro B se valora con 3 cuando el RQD es inferior al 25%, con 13 cuando está entre el 50 y 75%. El máximo puntaje es 20 si el RQD está entre el 90 y 100%.

Asumamos que nuestras rocas tienen los siguientes Índices de Calidad de Roca QCD: Formación Manizales 60%, F, Casabianca 6% y Complejo Quebradagrande 30%. Valoremos estos en su orden con 11, 1 y 6.

El parámetro C se valora hasta 30, calificando hasta 5 si el espaciamiento es inferior a 5cm, con 13 si está entre 0,3 y 1m y el máximo si supera los 3m.

Para nuestro caso asumamos que nuestras rocas tienen los siguientes valores: Formación Manizales 2m, Formación Casabianca 1m y Complejo Quebradagrande 2cm. Valoremos estos en su orden con 25, 15 y 2.

Para el parámetro D se contemplan puntajes entre 0 y 25 así: Fisuras abiertas o de mal relleno 0; algo rugosas y con separación menor de 1mm, 12; si la pared es rugosa se le da 20 si es dura, o 12 si es suave.

Las rocas de nuestro estudio recibirán la siguiente valoración: Formación Manizales 20, Formación Casabianca 6 y Complejo Quebradagrande 4.

El parámetro E se valora entre 0y10, dependiendo de si hay serios problemas o de si la roca está seca, respectivamente. Con ligera presión de agua el puntaje es 4 y en estado húmedo 7.

Asignemos los siguientes valores: Formación Manizales 8, Formación Casabianca 2 y Complejo Quebradagrande 4. Este método considera un ajuste de signo negativo por la orientación de las discontinuidades a la sumatoria de las valoraciones anteriores, el que para el caso de túneles varía de 0 a 10. Salvo Quebradagrande cuya actitud es favorable en los túneles, razón por la cual le restaremos 1, las discontinuidades de tipo vertical de Casabianca y Manizales, sumadas a los planos horizontales de las que limitan las facies, son el argumento para aplicar una corrección de -10 a los cinco parámetros ya valorados.

Valoración de parámetros para la clasificación geomecánica (CSIR)			
Parámetros	F. Manizales	F. Casabianca	C. Quebradagrande
A- Resistencia Inalterada	3	1	2
B- RQD (Deere)	11	1	6
C- Espaciamiento fisuras	25	10	2
D- Estado de las fisuras	20	6	4
E- Agua subterránea	6	2	4

Ajuste	-5	-10	-1
Total	60	10	22

Tabla 2c. Valoración de los parámetros de clasificación geomecánica (CSIR), para las rocas de los macizos en estudio.

En resumen, la Formación Manizales a pesar de ser conglomerática alcanza un valor importante y es superior a las demás. Además, su calidad se confirma con la historia de las construcciones de la CHEC: los canales de las plantas menores y los túneles de conducción hacia las plantas mayores.

Bieniawski clasifica el macizo rocoso en 5 categorías, dándole a cada una un tiempo medio de sostén y unos parámetros de cohesión y fricción que son los que se muestran en la Tabla 2d siguiente.

Clasificación del CSIR					
Valoración	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Calificación	I	II	III	IV	V
Descripción Roca	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
Cohesión kg/cm^2 y Fricción	$C > 300$ $\Phi > 45^\circ$	200-300 $40^\circ - 45^\circ$	150-200 $35 - 40$	100-150 $30 - 35$	$C < 100$ $\Phi < 30^\circ$
Tiempo medio de sostén para un claro	10 años para 5m	6 meses para 4 m	Una semana para 3 m	5 horas para 1,5 m	10 minutos para 0,5 m

Tabla 2 d. Denominación para clasificar las rocas de un macizo, según la valoración de los parámetros de Bieniawski (CSIR).

De conformidad con la Tabla 2d anterior y los puntajes obtenidos en la Tabla 2C, la Formación Manizales está en la frontera entre roca regular y buena, Casabianca aparece en el rango de las rocas muy malas, y Quebradagrande en el rango inferior de las rocas malas.

Aplicando el ábaco de la Figura 2t, estos son entonces los tiempos de sostén y claros de nuestros macizos rocosos:

- Formación Manizales: de 2 meses para un claro de 2 m.
- Formación Casabianca: 1 hora para claro de 1 m solamente.
- Complejo Quebradagrande: 2 horas para claro de 2 m.

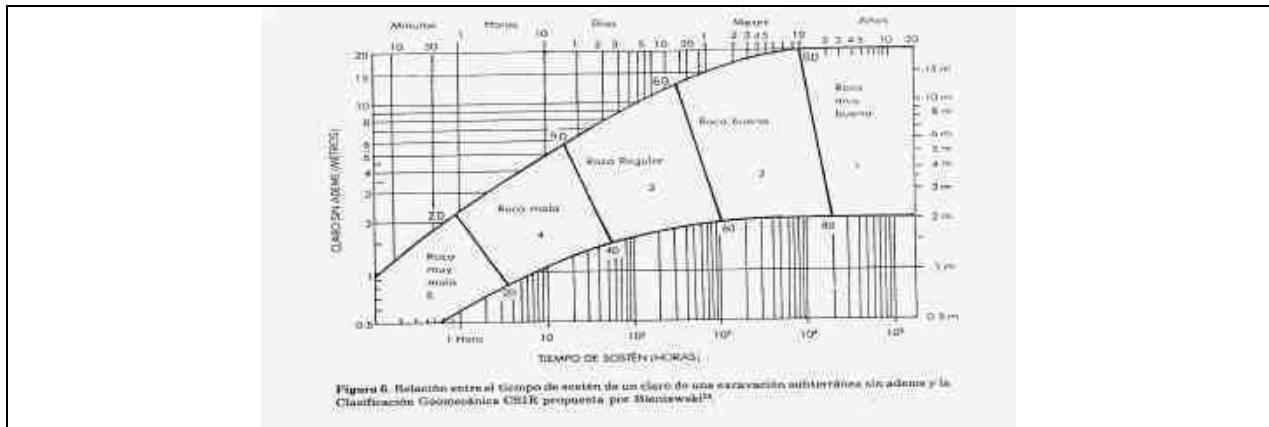


Figura 2t. Tiempo de sostén y claros sin ademe, para las diferentes calidades de roca en el sistema del CSIR según Bieniawski. Fuente: E. Hoek & E.T. Brown. Excavaciones subterráneas en roca. Mc Graw Hill. USA 1980.

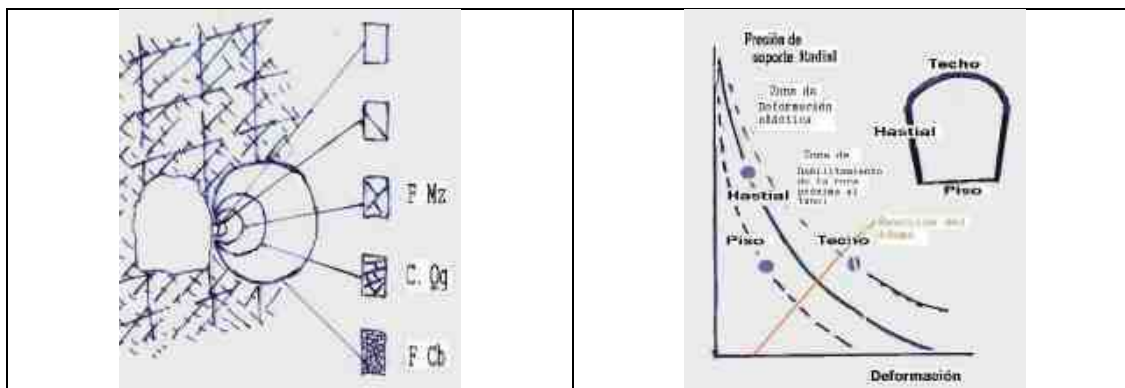


Figura 2u. Extensión del área de influencia según el estado del macizo (Izq), y Deformación del túnel contra presión de soporte. Obsérvese en la figura de la izquierda, la diferencia relativa de los tres macizos considerados, y en la de la derecha, la mayor solitud de anclaje para el techo. Adaptado de E. Hoek & E.T. Brown.

Debe considerarse que el estado de la roca cambia por factores tectónicos y de alteración que los esfuerzos también por variaciones de la sobrecarga y por presión de aguas según la altura del NAF, además que en la vecindad de los portales, siempre existen condiciones desfavorables por una discontinuidad adicional y por falta de confinamiento del macizo.

En resumen, los macizos ya clasificados presentan las siguientes características generales:

Clasificación de de los macizos rocosos de tres de las unidades geológicas de de Manizales

	RQD estimado	Q de Barton	Valoración de Bieniawski - Categoría	Denominación
F. Manizales	60%	0,825	(60) – III (frontera con II)	De regular a buena
F. Casabianca	6%	0,002	(10) – V	Muy mala
C. Quebradagrande	30%	0,011	(22)– IV (de rango inferior)	Mala cercana a muy mala

Tabla 2 d. Resultados obtenidos para clasificar las rocas de los macizos estudiados: Índice de calidad de roca RQD, Índice de Calidad de Túneles Q del NGI y clasificación del CSIR según Bieniawski.

Cálculo de ademes

No se hace este cálculo, el del sistema de apuntalamiento o entibado, puesto que no se dispone de la información geotécnica suficiente la cual demanda perforaciones exploratorias para obtener la resistencia inconfiada, el módulo de elasticidad de Young, la relación de Poisson y el peso unitario.

El diseño racional de los sistemas de ademado, parte de las características y naturaleza de los materiales que entran en juego, y en consecuencia de las relaciones esfuerzo deformación entre roca y ademe. A esto se suma el criterio ingenieril (Ver Figura 2u)

En el caso de la *Formación Manizales* habrá que considerar el anclaje de bloques redondeados potencialmente inestables y la voladura de la parte sobresaliente de otros, sin afectar demasiado la matriz. También se deberá considerar las concavidades que quedan de los bloques desprendidos, puesto que estas hacen que los marcos de soporte y el macizo respondan de formas diferentes. Se recuerda que el Túnel Manizales podría cruzar un macizo del Complejo Quebradagrande. Para mayor seguridad así exista autosoporte y en virtud de la carga de roca que deberá soportar el túnel, valorada en una vez su diámetro, se recurrirá a un recubrimiento de 3 pulgadas y a la utilización de arcos metálicos espaciados cada tres o cuatro pies.

En el caso de la *Formación Casabianca*, es evidente que se trata de un macizo fácilmente plastificable, dado que su resistencia a la compresión difícilmente soporta la presión del suelo. Es además, un material muy plástico y esto interesa para valorar el punto de ruptura a partir de las deformaciones. La presencia ocasional de los suelos blancos expansivos es otro factor a considerar. Este macizo es de interés para el Túnel La Avanzada. En virtud de la carga de roca que deberá soportar el túnel, valorada por ahora en 4,4 veces su diámetro y sin perjuicio de lo que se obtenga en los cálculos ya definitivos, para efectos de los costos se supone un recubrimiento de 12 pulgadas y la utilización de arcos metálicos espaciados a un pie.

Para el *Complejo Quebradagrande*, la propensión a su intensa laminación a causa de las discontinuidades primarias del miembro metasedentario (foliación –estratificación), y el fracturamiento que varía en intensidad, son las características condicionantes de los bloques.

A la heterogeneidad asociada a este patrón de fracturamiento, se suma la alternancia de capas plásticas afines a materiales de naturaleza tipo arcillolita, con otras rígidas compuestas de materiales silíceos, posiblemente lavas, e incluso chert. De forma casi segura, por lo menos en el Túnel del Tablazo, aparecerán los suelos de naturaleza carbonosa, altamente deleznales y alterables, ya comentados. Para esta unidad geológica la carga de roca que deberá soportar el túnel se ha valorado en 2,2 veces su diámetro: para efectos de los costos directos, se supone un recubrimiento de 6 pulgadas y la utilización de arcos metálicos a dos o tres pies de distancia.

Vulnerabilidad Sísmica

Para la OPS en el caso de sismo el desempeño de los túneles de conducción como el que nos ocupa, ha sido generalmente satisfactorio (Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides. 1997). Según, Oven y Sholl (1981), citados por el documento de la OPS, agruparon las estadísticas sobre los efectos constatados en túneles de acuerdo a los siguientes tres grados:

- No daños: sin grietas ni caída de bloques.
- Daños menores: Nuevos agrietamientos y caída de bloques.
- Daños severos: Agrietamientos graves, taponamientos y deslizamientos especialmente en los portales.

Los rangos de aceleración y velocidad sísmicas, para estos tres grados, han sido:

Niveles de daños	Aceleración (g)	Velocidad (cm/seg)
No daños	<0,20	<20
Daños menores	0,20 - 0,40	20 - 40
Daños severos	>0,40	>40

Tabla 2e. Niveles de daños en túneles asociados a movimientos del suelo. Fuente: Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides (PAHO, 1997)

En términos de Intensidades, las valoraciones anteriores según PAHO son

Niveles de daños	Intensidad Mercalli				
	VI	VII	VIII	IX	X
No daños	90	70	40	10	-
Daños menores	10	28	40	40	15
Daños severos	-	2	20	50	85

Tabla 2f. Intensidades de Mercalli. Fuente: Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides (PAHO, 1997)

De conformidad con lo anterior, la vulnerabilidad de las conducciones está absolutamente ligada a la calidad del suelo y de la estructura, y al nivel de la amenaza. Utilizando y adaptando el modelo de la OPS aplicado en la evaluación de la vulnerabilidad de tuberías a partir de la estadística daños y reparaciones por sismos reportados por el American Society of Mechanicals Engineers (1985) y otros, se ha elaborado la Tabla 2g suponiendo las

conducciones con diseños y calidades de construcción estándar. Para el efecto se le asignan 100 puntos al escenario más desfavorable, el del túnel en la Formación Casabianca con una aceleración que alcanza hasta 0,4g.

Espesor del suelo m	F. Casa blanca	C. Quebrada grande	F. Manizales
0-10	0,005	0,002	0,001
10-20	0,2	0,08	0,04
20-30	7,5	2,5	0,3
30-40	100	50	15

Tabla 2g. Grado de vulnerabilidad relativa de la oferta ambiental para las conducciones, a causa de la amenaza sísmica. Arbitrariamente se le ha asignado una intensidad o nivel de daños igual a 100 al escenario más desfavorable.

Esta Tabla 2g que se puede coordinar con la Figura 1g, permite, además de comparar la estabilidad relativa de las conducciones en cada unidad litológica, observar la ventaja de las conducciones en suelos y rocas cada vez más competentes y asignarles un nivel de riesgo específico, para las conducciones bien hechas, así:

- Riesgo sísmico bajo, entre 0,1 y 1.
- Riesgo sísmico moderado, entre 1 y 10.
- Riesgo sísmico alto, entre 10 y 100.

De ahí que se recomendarán ciertas precauciones en los diferentes túneles, adicionales a la de utilizar tuberías flexibles y tecnología sismorresistente, para las conducciones por fuera de los túneles, en los accesos a los túneles, dentro de los túneles, a la salida de los túneles y después de ellos. .

• III- PARTE CONCLUSORIA

Túneles de primera opción.

Se sugieren los túneles a partir de las siguientes opciones:

Túnel Manizales: 1850m de longitud y 150 m de techo máximo; aunque la alternativa que aparentemente no cruza fallas surge uniendo los portales Sierramorena y Panamericana, se optará por el trazo desde el Barrio Estrada desplazando ligeramente el alineamiento para que cruce en medio de dos trazos de fallas cartografiadas. Esto no excluye en ninguna de ambas opciones la eventual interferencia de los trazos que muestra el perfil longitudinal, estimados como consecuencia de la fotointerpretación y valoración morfotectónica de la superficie del terreno, en el sector de Fundadores y la Renault, donde se ha considerado conveniente salvar las depresiones a lado y lado de la Avenida Santander y a los costados del alineamiento del túnel.

Además, el acceso para la construcción del portal de entrada, está frente al Barrio Estrada. Se agrega que el túnel tendrá un desvío cerca del portal de salida, hacia la quebrada Marmato, como una previsión del diseño geométrico para el manejo ambiental del sector. En los

sectores vecinos a los portales por el lado de la Q. Marmato y la Q. Olivares, se contemplaron escombreras con posibilidades de beneficio social, aplicando el concepto de lo que se ha logrado en Villa Carmenza (rellenos que han permitido el desarrollo de instalaciones deportivas y de recreación).

Respecto al Nivel de Aguas Freáticas, NAF, el drenaje del macizo se favorece hacia el sur por la particular conformación alargada del macizo en esa dirección; también por el entorno de fracturas norte sur y este oeste, lo que se suma a una cobertura impermeable como la Formación Casabianca y al bajo nivel de infiltración propio de la zona urbana. Los factores que favorecen la infiltración, como la cobertura vegetal y las capas de cenizas, con mayor presencia hacia la ladera norte y hacia el costado sur, hacen menor contribución. Los manantiales de verano escasos en altura y en caudal, apenas se observaron en la Panamericana, pero sin duda alguna los de invierno especialmente los asociados a NAF colgados, pueden explicar deslizamientos de las formaciones superficiales.

A medio km del portal de entrada el Túnel Manizales transitará a 150 m bajo las instalaciones del Liceo Isabel La Católica, en el sector de Fundadores. Allí, la profundidad equivalente a una y media veces la altura de la Catedral de Manizales, hará ver su blindaje como medida altamente redundante y su diámetro de 2m verdaderamente insignificante, como también imperceptibles las actividades de construcción cuyas máximas trepidaciones serán inferiores a las del tráfico de las avenidas del sector. Esto no excluye la necesidad de prevenir fenómenos de resonancia en este y en cualquier otro túnel, a causa de las vibraciones de motores grandes en funcionamiento continuo.

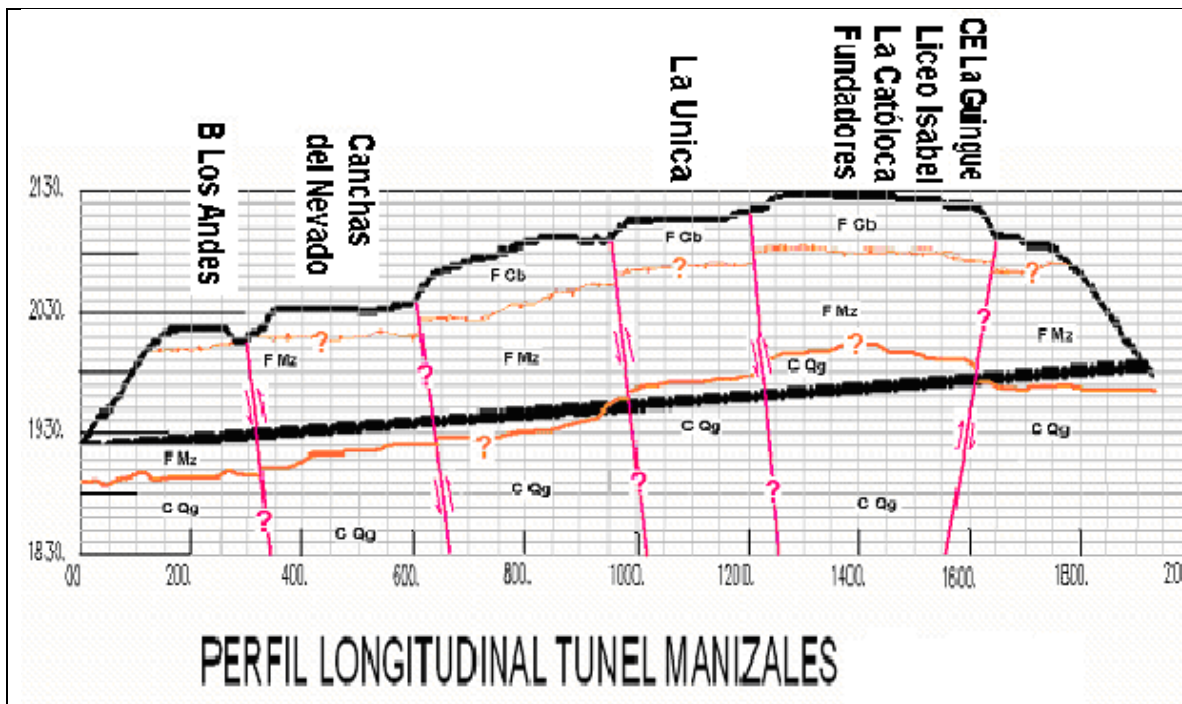


Figura 3a. Perfiles longitudinales del túnel Manizales, de S a N, para la Alternativa desde el barrio Estrada. La profundidad máxima del túnel es de 150 m, lo que supone un esfuerzo del orden de 30 kg/cm². La zona más crítica está en los portales, por falta de presión suficiente para confinar los bloques. Es probable que se interfiera el C. Quebradagrande

hacia el portal de entrada, y se esperan discontinuidades asociadas a un modelo compresional, según el modelo bidireccional de la Figura 2p. Se estima el contacto entre las unidades de conglomerados, y no se da el perfil del NAF de verano que aflora a la altura del portal de salida, y que en invierno y al interior del túnel, puede alcanzar la primera centena de metros.

Queda entonces la alternativa Sierramorena-Panamericana, como segunda opción para el túnel Manizales, la que debe entrar en caso de proseguir con la prospección.

Si por cualquier motivo se presenta ruptura o taponamiento en el Túnel Manizales, y las fugas aparecen en las zonas de los portales, gracias a las condiciones propicias del entorno inmediato se pueden administrar debidamente los flujos. Además de la planeación preventiva para el uso y manejo del suelo, e deberá prever esta circunstancia al construir las obras en el portal de salida, aprovechando la disposición adecuada del alineamiento desviado hacia la Q. Marmato. Igualmente, en la vecindad del portal de acceso en la Q. Olivares

En términos de amenaza sísmica y por deslizamientos, el antecedente de estabilidad del sistema de canales de CHEC, excavado sobre la F. Manizales, con tramos sin recubrimiento alguno en concreto u otro material, y con más de 60 años en servicio, al igual que el de los túneles de conducción de la CHEC del Río Sanfrancisco construidos hace algunas décadas en conglomerados aluviales y de inferior calidad, resulta ser un referente válido. Para el diseño sismorresistente es suficiente aplicar el espectro de la Norma NSR-98.

Costos y rendimientos provisionales.

Con base en información suministrada por la firma Ingeniería y Contratos Limitada de Medellín, el costo por metro lineal de una galería en conglomerados, con entibado de madera y tecnología de minas auríferas excavadas en aluvión, y cuyas dimensiones son de 1,8m en altura por 1,6m de base, puede ser \$4 millones. Para esa obra el rendimiento estimado es de 2 m por día.

Si los túneles tuvieran este diámetro, entonces, por las longitudes, los tiempos y costos sin elementos de recubrimiento y soporte, ni adecuación de portales, los que incluyen excavación y entibado, como se muestra en la tabla adjunta, serían los mayores de la Tabla 3a.

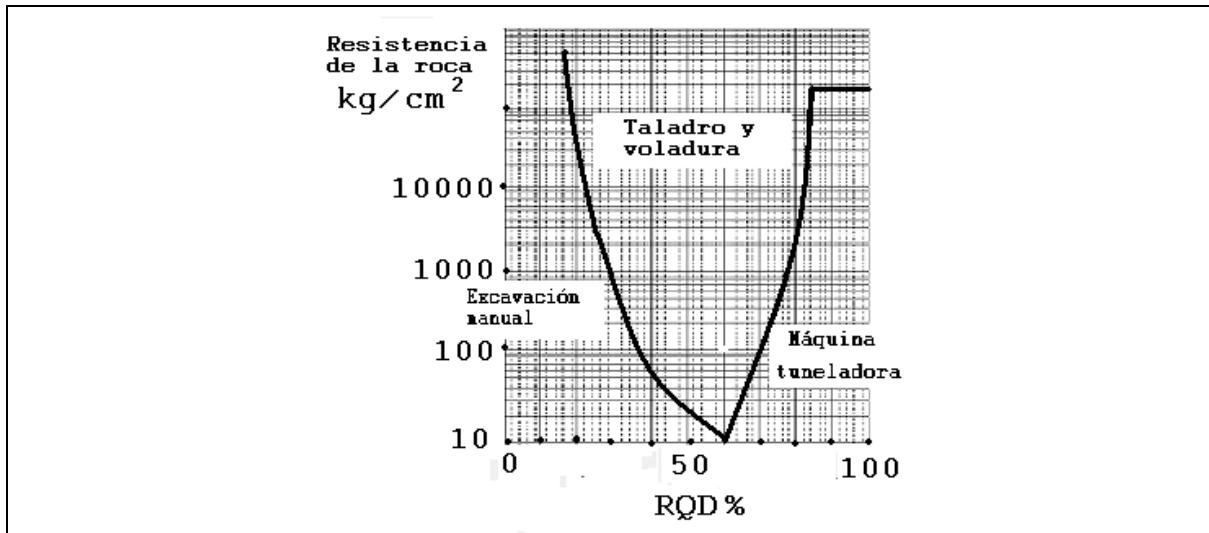


Figura 3d. El mayor costo de soportar un túnel en roca blanda, se compensa con el menor costo de excavarlo. Casabianca admite excavación manual, pero La F. Manizales, excavación con taladro y voladura. Figura adaptada de una lectura intitulado y que cita como fuente esta: Geological Society of London. Tunnels for Roads and Motorways. 1972.

Los costos estimados y rendimientos en el túnel piloto de La Línea, entre Cajamarca (Tolima) y Calarcá (Quindío), según información suministrada para el Ingeniero Luis Ernesto Sanz de Ingesam, son de \$9'610.000 por metro lineal y de 11,8 m por día. Esta obra de 8.580m de longitud cuyo diámetro es de 4,4m, está programada para 730 días (24 meses) y la proporción de costos es la siguiente:

• Costo excavación	\$76'600.000.000	(92,9%)
• Interventoría y diseño	\$5'500.000.000	(6,7%)
• Adquisición de predios	\$300.000.000	(0,4%)
• Costo total estimado	\$82'450.000.000	

Si aplicamos el costo del Túnel de La Línea a nuestro caso, entonces el costo de nuestros túneles

sería del orden de \$2'000.000 por metro lineal, al menos para el ítem excavación. Pero en el caso del Túnel de La Línea los costos no son iguales por los dos frentes ni por cada metro excavado, a causa de la diferencia entre los macizos y de las rocas en cada uno de ellos, lo que se expresa en variaciones de rendimientos y costos de excavación.

Como tercer escenario de costos, está el de un Túnel en Santa Marta, de 258 m con sección de 28,6 m², para evacuación de aguas lluvias. Según información amablemente suministrada por los Ing. Edgar Otálora y Andrés Cárdenas M de la Empresa Calderón y Jaramillo S.A. el presupuesto inicial de \$ 2'100'000.000 en costos directos da como resultado un costo estimado de \$8'400.000 por metro lineal, sin incluir predios, diseños, movimientos de redes, ni ventilación.

En la construcción excavando con jumbo en rocas metamórficas, para las diferentes calidades de roca, estas son las longitudes a excavar, como los rendimientos y ademado previstos y en avance:

Roca III: longitud 40 m, avances de 2,5 m/d, marcos tipo IPY espaciados 1 m, revestimiento en concreto neumático de 0,10 m de espesor y pernos localizados. Roca fracturada.

Roca II: longitud 60 m, avances de 2,5 m/d, sin marcos, revestimiento en concreto neumático de 0,10 m de espesor y pernos localizados. Roca con RQD superior al 50%

Roca I: longitud 158 m, avances de 5 m/d, revestimiento en concreto neumático para algunos puntos. Roca autosoportante.

A continuación, en la Tabla 3 a., se estiman los rendimientos esperados según los frentes de trabajo sugeridos para cada túnel, y suponiendo se emplean métodos de excavación similares a los del túnel que se construye en Santamarta. Posiblemente en el caso del túnel de la Avanzada, la excavación pueda ejecutarse combinando métodos manuales.

CARACTERÍSTICAS DE LOS TÚNELES Y TIEMPOS DE EXCAVACIÓN				
Túneles	Longitud	Participación del macizo	Portales de entrada y salida	Tiempo de Excavación y número de frentes
T. Manizales:	1850 m	F. Manizales 70% y posiblemente el C Quebradagran de 30%.	Sierramorena y La Panamericana	Con dos frentes: 31 meses (12,3 meses). Se sugiere excavar por ambos frentes.

Tabla 3a. Características generales de los túneles y tiempos estimados para las obras, en dos escenarios: Alto y (Bajo).

Para estimar la relación de costos aproximados entre la excavación y los otros insumos en túneles, vale mencionar las que presenta el Profesor Fernando Fujimura de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, en su conferencia sobre Excavaciones Subterráneas, presentada en el Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas, con el título “Reservatorio Subterráneo De Agua Tratada...” recogiendo las experiencias en costos de obras para el abastecimiento de grandes centros urbanos; es esta:

- Excavación: 74,8%
- Soporte: 10,1%
- Revestimiento definitivo: 5,9%
- Estructura de concreto: 7,2%
- Equipamiento electromecánico: 2%

Otro costo de interés, el de las perforaciones exploratorias necesarias para obtener la información geotécnica para el diseño, y también para construir drenajes previos opcionales que se definirán después de la prospección en detalle, caso por caso y túnel por túnel. Se sugiere, como mínimo, una perforación exploratoria por km de túnel y por túnel, así: tres de 150 m en los mayores y dos de 50 m en los menores. Si estas resultaren insuficientes, se recurriría al rubro de imprevistos.

Además, en cada túnel se requieren obras adicionales como un puente de 40 m sobre La Olivares y una vía destapada y adecuada para el acceso al portal Estrada; un par de pedraplenes para iniciar con ellos escombreras provistas de su box culvert, suficiente en longitud para complementar sus volúmenes más adelante y hacer viable sendos escenarios útiles en los barrios Estrada y La Panamericana.

Las obras en los portales se estiman del orden de \$1000 millones cada una, más o menos \$500 millones. Estas dependen de si se requiere anclar pantallas, además del perfilado y de los canales colectores; de ser necesario en algún portal, se podrá requerir de un falso túnel; además se sugieren obras antes de cada portal de entrada en cada túnel, para evacuar flujos en caso de daños por sismo u otros eventos. Estas harán parte de las obras propias de las conducciones y portales.

Se estima que el refuerzo sugerido en el capítulo precedente, que no es el ademado definitivo ni se ha calculado, incrementa los costos directos de cada túnel -no los totales-, en un 10%, 20% y 40%, según se trate de la F. Manizales, el C. Quebradagrande y la F. Casabianca, respectivamente.

Los ítems aparecen en la Tabla 3b.

Con base en estos costos y admitiendo que es posible alcanzar un costo directo más similar al de las estimaciones presentadas por la empresa Ingeniería y Contratos Ltda., pues los otros caen a valores que parecen resultar muy inferiores, se presentan dos escenarios, en la Tabla 3c.

ITEMS DE ALGUNAS ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS				
Item	Unidad	Cantidad	V.U.-\$ miles-	V.T. -\$ miles-
Perforaciones expl.	ml	600	250.	150.000.
Puente	ml	40	5.000.	200.000.
Vía destapada	ml	360	600.	216.000.
Pedraplen	global	12.000	30.	360.000.
Boxculvert	ml	200	3.000.	600.000.
Escombreras	global	5.000	10.	50.000.
Portales	global	2	1.500.000.	3.000.000.
Laderas tratadas	ha	2	300.000.	2.400.000.
Cauces tratados	ml	80	5.000.	400.000.

Predios	ha	8	30.000.	240.000.
TOTAL				7.316.000

Tabla 3b: Estimación aproximada del costo de inversiones complementarias para cubrir algunos Ítems. Este costo adicional equivale a \$4'070.00 por metro lineal de túnel.

COSTOS ESTIMADOS DEL TÚNEL EN PESOS DEL AÑO 2006			
	Costo básico, estimado en pesos del 2006.	Costo con ademado y sin obras adicionales	Costo con ademado y con obras complementarias
T. Manizales:	\$7400 millones (\$5550 millones)	\$8600 millones (\$6450 millones)	\$16130 millones (\$13980 millones)

Tabla 3c. Estimación de costos directos en dos escenarios: Alto y (Bajo). Los costos no incluidos: imprevistos, diseño e interventoría, pueden estimarse en el 20% de los mayores valores señalados.

Es evidente que el tiempo estimado para el Túnel Manizales demanda métodos más eficaces para que pasen de 2 metros por día, a 5 metros por día. Así el tiempo de construcción se reducirá notablemente. También se sugiere en todos los casos, adelantar la obra para este proyecto en sección circular, con ademado en arco metálico y recubrimiento continuo en concreto lanzado, según lo estimado en el cálculo definitivo, que puede ser cercano a lo descrito en el cálculo del ademado, para ilustración y estimación gruesa de los costos directos.

Actividades de Prospección y recomendaciones.

Para todos los túneles se hace necesario obtener, mediante perforaciones profundas, los parámetros geomecánicos de las rocas. Esta información es fundamental para el diseño de ademes y estructuras de soporte.

Túnel Manizales:

La incertidumbre litológica sobre la continuidad de la Formación Manizales, tiene relevancia por las circunstancias estructurales del orden tectónico, únicamente. En un escenario en el cual aparezca uno o dos bloques levantados entre Fundadores y Cervantes, el correspondiente fallamiento cortaría transversalmente el alineamiento del túnel. La geoelectrica no procede con ventajas para el caso, pues el mayor contraste que advierte, el del NAF, poca información entrega sobre cambios estructurales. La sísmica de refracción informaría sólo del contacto entre la F. Casabianca y otra más densa abajo, que requeriría calibración previa para saber si la que subyace es la F. Manizales o el C Quebradagrande. Los rellenos y la ceniza generan ruido en la información geofísica, pero salvable. La gravimetría de detalle soportada en la base topográfica existente y una altimetría de precisión, complementarían el anterior método.

Puede considerarse la conveniencia de perforaciones subhorizontales opcionales para drenar el macizo rocoso por abajo del túnel, buscando mejorar las condiciones menos favorables en

el extremo sur, las que podrían disponerse transversalmente desde la Quebrada Marmato. Estas perforaciones igualmente aportarían valiosa información adicional y permitirían una decisión más precisa en caso de contemplarse la alternativa desde Sierramorena. La permeabilidad primaria de esta formación, es deficiente por el grado de consolidación y la mediana cementación de su matriz. El accidentado perfil longitudinal, los usos del suelo y la cobertura edificada, dificultan y condicionan las actividades de prospección geoelectrica y de sísmica de refracción. Contrariamente la situación, distribución y estado de las vías facilita el acceso al lugar, aunque el corredor de estudio corta los principales flujos de transporte urbano.

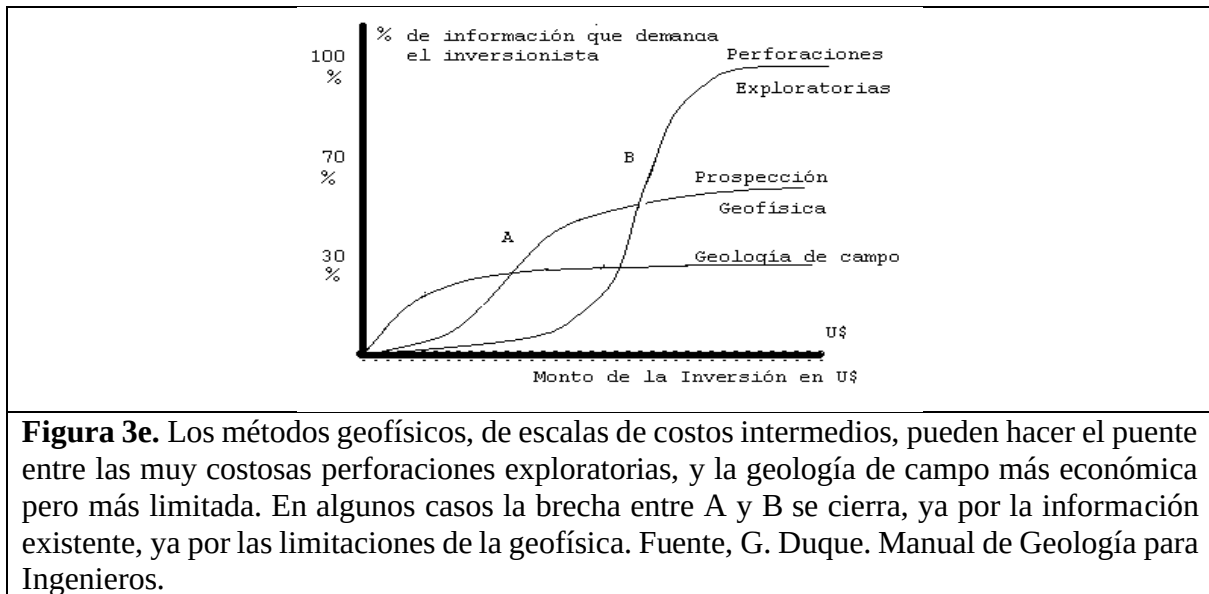


Figura 3e. Los métodos geofísicos, de escalas de costos intermedios, pueden hacer el puente entre las muy costosas perforaciones exploratorias, y la geología de campo más económica pero más limitada. En algunos casos la brecha entre A y B se cierra, ya por la información existente, ya por las limitaciones de la geofísica. Fuente, G. Duque. Manual de Geología para Ingenieros.

Complementos y estrategias.

La generación de escombros, la necesidad de construir un ambiente de seguridad para las obras y una actitud favorable al proyecto, pasa por la extensión de los beneficios sociales, los nombres de los túneles y sus portales, las obras complementarias y las oportunidades para vincular otros socios estatales y privados.

Los nombres de los túneles, tales como Manizales, ... y los de los portales, que aluden al del espacio vital de cada comunidad, deben responder a un propósito y a un motivo: los íconos de la ciudad siempre están en otras partes no marginadas. Pero una obra cumbre de la ingeniería local, como ésta, aunque esté en los extramuros, puede ser motivo de orgullo para los moradores del lugar, si se le da el sentido adecuado, si se hace con el ambiente y la estética amigables, y si se articula al imaginario colectivo mediante procesos educativos que le permitan a los moradores vecinos su comprensión.



Figura 3f. Cuando no existen referentes, es porque tampoco hay propósitos colectivos. Los íconos referentes fortalecen los procesos porque facilitan la organización de la comunidad. Imágenes tomadas de Internet.

Con el proyecto, el río y la cañada ya no serán las cloacas, sino los espacios limpios que podrán ser compartidos por masas humanas que pueden transformarse en verdaderas comunidades “empoderadas” de su ambiente, siempre y cuando se les faciliten los procesos, se les facilite el espacio público y se les complemente con los recursos que demandan. Y en este caso para el equipamiento que alivie las enormes limitaciones de seguridad e infraestructura, se puede hacer de las escombreras medios de soporte para obras como pequeños polideportivos y rutas, para el bienestar, el esparcimiento, la integración y la socialización, de las comunidades de Sierramorena y Estrada, urgidas de acceso hacia y desde la vía a Neira, entre otras. Esto procedería también en el portal de salida sobre la Panamericana.

Tomando como ejemplo las obras que se observan en Villa Carmenza, y que sirven de paso y para la recreación a los moradores del Barrio Nevado y El Paraíso, los residuos de las excavaciones y obras de construcción complementarias, servirían para modelar el terreno de Olivares, salvar este obstáculo y construir una ruta de paso y de recreación ambiental o deportiva, en asocio con el municipio.



Figura 3g. Sector de Villa Carmenza: construida la escombrera, la comunidad encuentra en este espacio de recuperación ambiental, escenarios para socializar mediante la recreación y el deporte. Los escombros del Túnel Manizales, deben servir para similares fines y tener buen destino.

Finalmente, debe reiterarse que los dos túneles cortos que se proponen, hacen parte del manejo ambiental del proyecto en sendos sectores con vulnerabilidades diferentes. Aún más, el Túnel Manizales igualmente puede ser una obra de similar naturaleza, habida cuenta de las diferencias entre los entornos geológicos de las dos laderas de la Ciudad. La morfología mucho más abrupta de la Olivares en unidades litológicas similares, hace casi evidente que en el ámbito del río Chinchiná, resulten mejor la estabilidad de las laderas para las conducciones y mayor la oferta de predios para las plantas de tratamiento.

Agradecimientos

Este trabajo se hizo con el concurso de varias Instituciones y personas tanto para las labores de campo como para las de oficina. En primera instancia a Aguas de Manizales y a INGESAM. También al Doctor Manuel García López, , por su orientación para esta tarea. A los ingenieros Gustavo Navia, Jairo Suárez, Luis Ernesto Sanz, y Gerardo Andrés España, por su colaboración.

Gonzalo Duque Escobar y Eugenio Duque Escobar – 2006.

• IV- BIBLIOGRAFÍA TUNEL

Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Estudio de Suelos para la Rehabilitación Estructural del Teatro Fundadores. Manizales 2003.

Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Manizales 2004.

Aguas de Manizales. Base topográfica digitalizada y Lineamientos estructurales en el área de Manizales, e Imágenes digitales de la Ciudad. 2006

Aerofotografías del área de Manizales. Línea de vuelo C-2275 fotos N° 66 y 67.

Línea de vuelo C-2277 fotos N° 40, 41, y 42. IGAC 1987

Álvaro Correa Arroyave. Mecánica de rocas: teoría de elasticidad y elementos finitos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1992.

Alberto S Nieto. Caracterización Geotécnica de Macizos de Roca Blanda. SIMR&SCG. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Bogotá. 1982

Darrell Herd. Glacial and Volcanic Geology of the Ruiz-Tolima Volcanic Complex, Cordillera Central-Colombia. Washington, 1974.

Jean Francois Toussaint. La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas. III conferencia colombiana de geología ambiental. Armenia 1994.

E. Hoek & E.T. Brown. Excavaciones subterráneas en roca. Mc Graw Hill. USA 1980.

Francisco José Cruz Prada. Relaciones Lluvias - Deslizamientos en la Ciudad de Manizales- Revista SCIA 48 años. Manizales 2004.

Fernando Fujimura. Excavaciones Subterráneas: Reservatorio Subterráneo De Agua Tratada, Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. I Congreso Suramericano de Mecánica de Rocas. Bogotá. 1982

Germán Chicangana, Arturo Barrientos, Carlos A. Vargas-Jiménez. Determinación de esfuerzos a partir de los análisis de microtectónica en algunos sectores de los sistemas de

fallas que cruzan el Eje Cafetero, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá 2002.

Gonzalo Duque Escobar. [Fundamentos de CTS y Economía](#). Universidad Nacional de Col. 2006.

Gonzalo Duque Escobar. [Manual de geología para ingenieros](#). Universidad Nacional de Col 1998

Gonzalo Duque Escobar y Carlos Enrique Escobar Potes. [Mecánica de los suelos](#). Universidad Nacional de Colombia. 2002.

John G. Ramsay. Plegamientos y fracturamiento de rocas. Editorial H. Blume. España, 1977.

José Luis Naranjo. Modelo de evolución morfotectónica del Sistema de Fallas de Romeral a nivel regional. Universidad de Caldas. Manizales 2005.

José Luis Naranjo y Pedro Antonio Ríos. Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. Universidad de Caldas, Manizales 1989.

Manuel García, Lisandro Beltrán y Álvaro González. Curso de estabilidad de taludes. Posgrado en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales 1993.

Michel Hermelín y Andrés Velásquez. Prediagnóstico de aspectos geológicos. Inédito. Plan Integral de Desarrollo Urbano de Manizales. Medellín 1985.

Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Manizales, CIMOC -Alcaldía de Manizales, 2002.

[OPS.Vulnerability of Water Supply Systems to Landslides](#). Mitigación de Desastres en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. PAHO, 1997

Volfson & Yakoclen. Estructura de los campos y yacimientos metalíferos. Ed Mir. Moscú. 1982.

V. V. Belousov. Geología estructural. 2 ed. Moscú, 1979.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES COMPLEMENTARIAS**BIBLIOGRAFÍA Básica:**

Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics. Alessandro Tarantino, E. Romero, Y.J. Cui – 2005.

[Advanced Geotechnical Engineering](#). Prof. Andrew Whittle (2003). MIT Course.

Advanced Soil Mechanics, Braja M. Das. This edition published 2008 by Taylor & Francis 270 Madison Ave, New York, NY 10016, USA.

[Advanced Soil Mechanics](#). Prof. Charles Ladd and Dr. Lucy C. Jen. (2004). MIT Course.

Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja M. Das. California State University, Sacramento. Thomson Ed. 2001.

[Aguas superficiales](#) – [PDF \(Capítulo 17\)](#). Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Aguas subterráneas](#) – [PDF \(Capítulo 18\)](#). Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Análisis de estabilidad de taludes](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Auscultación de taludes](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

Boletín (es) de Vías, RUIZ, Carlos-Enrique. (Director y Fundador). Publicación con más de 100 ediciones. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Ciclo geológico](#) – [PDF \(Capítulo 1\)](#). *Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.*

Clasificación de Roca Intacta, CORREA, Álvaro. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, 1992.

[Corrección de cauces torrenciales](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Coberturas vegetales](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

Curso de flujo en medios porosos. HERNANDEZ, Félix; BELTRAN, Lisandro. Posgrado en Geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1995.

[Intemperismo o meteorización](#) - [PDF \(Capítulo 8\)](#). Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Introducción a la Mecánica de Fluidos. Carlos A. Duarte y J. Roberto Niño (2004), U.N. de Colombia.

Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Sowers y Sowers. Ed. Limusa 1978.

Engineering Mechanics: Statics And Dynamics. Russell C Hibbeler, R.C. Hibbeler. (9 E) Editorial: Prentice Hall (2001).

[Erosión y movimientos en masa](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Estructuras de contención](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Estructuras de drenaje](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

Excavaciones subterráneas en roca. E. Hoek/ E.T. Brown. Mac Graw Hill. 1980.

[Evaluation of Soil and Rock Properties](#). P.J. Sabatini, R.C. Bachus, P.W. Mayne, J.A. Schneider, T.E. Zettler (2002) University of Massachusetts Lowell.

Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Braja. M. Das (2001). California State University, Sacramento. Thomson Learning.

Foundations And Slopes. John H. Atkinson. University Series in Civil Engineering. Edition By Mc Graw Hill C. 1981.

Foundation Engineering. Peck, Hanson y Thornburn. 2 Ed. John Wiley and Sons. , 1974.

[Geotecnia para el trópico andino](#); Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[La Geotecnia](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Manual de Geología: Obra completa](#) Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Manual de Mecánica del Suelo y Cimentaciones:s. Ángel Muelas Rodríguez.

Cap1: [Caracterización de los suelos](#)

Cap2: [Elementos de contención](#)

Cap 3: [Estabilidad de taludes](#)

Cap 4: [Cimentaciones directas](#)

Cap 5: [Cimentaciones profundas](#)

[Materiales térreos](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

Mecánica de rocas: teoría de elasticidad y elementos finitos. CORREA ARROYAVE, Álvaro de J. 1992. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

[Mecánica de Suelos](#). T William Lambe y Robert V. Witman. (Español)

[Mecánica de Suelos](#), Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1985). Tomo I: Fundamentos.

[Mecánica de Suelos](#), Juárez Badillo y Rico Rodríguez (1985). Tomo II: Teoría y aplicaciones.

Mecánica de Suelos, Julio Robledo Isaza. Vol I y II. U.N. de Colombia. Manizales. 1992.

[Mecánica de Suelos](#), Peter L. Berry David Reid. McGraw-Hill. 1993.

Mecánica de suelos en la ingeniería práctica, Karl Terzaghi y Ralph B. Peck (1976) 2 E. Barcelona: El Ateneo.

[Mecánica de los Suelos](#). Duque Escobar, Gonzalo y Escobar P Carlos E. U.N. de Col. Manizales, 2002.

Metodología y Criterios de Clasificación para Inventario de Movimientos. GONZALEZ G. Álvaro Jaime. I Simposio Suramericano de Deslizamientos. Paipa, 1989.

[Minerales](#) – PDF (Capítulo 5). Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Modelo dinámico para calificación de la amenaza pluvial y evaluación de la posibilidad de erosión en la sectorización geotécnica de oleoductos y su aplicación en la planeación y toma de decisiones. CORREA CALLE, Oscar. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2005.

[Obras de estabilización](#). Geotecnia para el trópico andino; Escobar Potes, Carlos Enrique Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

[Principios de Ingeniería de Cimentaciones](#), Braja M. Das.

Mecánica de Suelos. T.W. Lambe y R.V. Whitman. ITM. Limusa Noriega Editores. México 1993.

Principios de Geología y Geotecnia para Ingenieros. Krynine y Judd. Ed. Omega Barcelona 1961.

[Problemas resueltos de mecánica de suelos y de cimentaciones](#) – Crespo Villalaz.

Propiedades ingenieriles de los Suelos, G. Márquez. U. N. de Colombia. Medellín, 1987.

[Soil Behavior](#). Prof. Charles Ladd; Dr. Lucy C. Jen; Prof. Andrew Whittle (2005). MIT Course.

Soil Behaviour and Critical State Soil Mechanics, Davis Muir Wood.

Soils and Foundations. FHWA (2006) NHI Course. Federal Highway Administration. USA

[Volume I:](#)

[Volume II:](#)

[Soil Mechanics](#). Arnold Verruijt (2001). Delft University of Technology

Soil Mechanics. Lambe, T. William, and Robert V. Whitman. New York: J. Wiley and Sons, 1979.

Soil Mechanics in Engineering Practice. By Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, Gholamreza Mesri.

Soil Mechanics. Principles and Applications. W.H. Perloff - W. Baron. Ed: Jhon Wiley & Son. USA 1976.

[Tiempo geológico](#) – PDF (Capítulo 10). Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Tierra sólida y fluida](#) - PDF (Capítulo 4). Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[The Environment of the Earth's Surface](#). Prof. John Southard (2007). MIT Course.

The Mechanic of Soil, J.H. Atkinson and P.L. Bransby. Mc Graw Hill. London. 1978.

Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. D. G. Fredlund, H. Rahardjo, M. D. Fredlund – 2012.

Unsaturated Soil Mechanics - from Theory to Practice. Zhengnan Chen, Changfu Wei, De'an Sun – 2015.

BIBLIOGRAFÍA - Laboratorios:

[Auscultación de laderas inestables en minería y obra civil.](#) Carles Navarro Freixas.

Ensayos de Suelos Fundamentales para la Construcción. George Bertram. Soiltest. USA 1977.

[Equipos De Auscultación E Instrumentación.](#) Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Gobierno de España.

[Exploración del subsuelo y caracterización geotécnica del terreno.](#) Fabián Hoyos Patiño. U.N. de Colombia. Facultad De Minas.

[Granulometría. César García Andreu,](#) José Miguel Saval P, Francisco Baeza B, Antonio José Tenza A. (2009). Práctica de Materiales de Construcción. Universidad de Alicante, España.

[Guía de laboratorio de mecánica de suelos.](#) Victoria Elena Meza Ochoa. Ed. Politécnico Colombiano 'Jaime Isaza Cadavid'. Medellín. 2013.

[Guías de laboratorio mecánica de suelos I.](#) Marvin Blanco Rodríguez e Iván Matus Lazo. Departamento De Construcción. Universidad Nacional De Ingeniería. Nicaragua.

[Geomorfología\) – PDF \(Capítulo 20:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Geotechnical Test Procedure: Soil Mechanics Laboratory Test Procedures. GTP-6.](#) Geotechnical Engineering Bureau (2015) State Of New York. Department Of Transportation.

[Macizos rocosos.](#) Abril, E. G. (2013) Clases de Laboratorio. Geotecnia I. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Córdoba.

Manual De Laboratorio de Mecánica De Suelos. Alfredo Valencia. Alumno Miembro del Instituto Politécnico Nacional de México. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de Guerrero https://www.academia.edu/4177974/Manual_De_Laboratorio_de_Mecanica_De_Suelos

Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería civil, Joseph E. Bowles. Mc Graw Hill. Bogotá, 1980. <http://www.freelibros.org/ingenieria-civil/manual-de-laboratorio-de-suelos-en-ingenieria-civil-joseph-e-bowles.html>

Manual Laboratorio Mecánica de Suelos I y II. Ing. Abraham Polanco R. UACH. México. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. [Suelos I: Suelos II: Prácticas de Mecánica de Suelos \[1\]](#)

[Movimientos masales\) PDF \(Capítulo 16:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Soil Mechanics,](#) A. Verruijt.

Soil Testing, W. Lambe.

[Sistemas De Auscultación En Explotaciones Subterráneas.](#) Carles Navarro Freixas. Ingeniero de Caminos.

FUENTES DE COMPLEMENTO:

[A digital books and book sections U.N.:](#) GONZALO DUQUE ESCOBAR

[A la memoria de Armero, 30 años después de la tragedia.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2015) Documento de discusión. Blanecolor, Revista Civismo.

[Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México 2007-2012.](#) Coordinación General de Proyectos Especiales de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento del Valle de México. Área de Ingeniería

[Algunas Rocas Ígneas en Colombia,](#) Duque Escobar, Gonzalo (2007) U.N. de Colombia.

[Algunas Rocas Sedimentarias en Colombia,](#) Duque Escobar, Gonzalo (2007) U.N. de Col.

[Algunas propiedades físicas y químicas de los suelos de las regiones tropicales.](#) Madrid S., Carlos (1948) U.N. de Colombia.

[Algunos procedimientos constructivos para túneles urbanos.](#) Alejo O. Sfriso (2006). UBA, AOSA SRL y VS Consultores SA

[Amenazas naturales en los Andes de Colombia.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2007) U.N. de Col.

[Amenaza, vulnerabilidad y sociedades urbanas una visión desde la dimensión institucional.](#) Chardon, Anne Catherine. Revistas U.N. Gestión y Ambiente.

Análisis de la información pluviométrica histórica para la prevención de amenazas hídricas sobre la ciudad de Manizales. Fernando A. González Lozano. CORPOCALDAS. Manizales, 1999.

[Análisis de pilotes cargados lateralmente, mediante interacción suelo estructura, empleando una teoría simplificada de empujes.](#) Hernández Carrillo, Rodrigo (2011) Universidad Nacional de Colombia. -

[Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático.](#) Ocampo López, Olga Lucía (2012). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. -

[Análisis del comportamiento de deformación volumétrica de llenos en brechas de servicios públicos.](#) Duque Bernal, Julián (2009) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Análisis numérico de desplazamientos del terreno por extracción de agua en profundidad.](#) Suárez Buitrago, Ayda Esperanza (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Análisis tridimensional de pilas considerando el comportamiento no lineal del suelo.](#) Uribe Santa, Andrés Felipe (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

[Anotaciones sobre el riesgo sísmico en Manizales.](#) Gonzalo Duque-Escobar.

[Antes que la Colosa a “galerizar” Cajamarca.](#) Gonzalo Duque-Escobar (2010).

[Aplicaciones adicionales de los resultados de pruebas de carga estáticas en el diseño geotécnico de cimentaciones.](#) Valencia González, Yamile And Lara Valencia, Luis Augusto And Camapum De Carvalho, Jose (2012). Dyna; Vol. 79, núm. 175 (2012); 2346-2183 0012-7353 .

[Aportes al conocimiento de los factores geológicos que inciden en los deslizamientos de Manizales.](#) Fabio Luís Cachón Torres y Jorge Iván Orozco Betancurth. Universidad de Caldas. Facultad de Geología y Minas. 1989.

[Apuntes de Geotecnia con Énfasis en Laderas:](#) Blog de Santiago Osorio R

[Apuntes sobre suelos: algunas relaciones roca-mineral-suelo.](#) Jaramillo Jaramillo, Daniel Francisco (1987)

[Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia](#) (II versión). Duque Escobar, Gonzalo (2009). 1er Congreso Internacional de Desempeño Humano en Altura. Noviembre 19 de 2009, Manizales. -

[Asuntos del clima.](#) Duque-Escobar, Gonzalo, Compendio de notas. En:

Atmósfera, tiempo y clima. Barry R. G., Chorley R. J. Omega. Barcelona 1978.

[AUSCULTAN DE TÚNELES. JOSE M^a RODRIGUEZ ORTIZ.](#) Dr. Ingeniero de Caminos Catedrático de Mecánica del Suelo Y Cimentaciones de la UPM.

[Blog de Manuel García López, I.C., MSCE](#)

Boletín de Vías. Ruiz Restrepo, Carlos – Enrique. ISSN 0120-2251. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. Varios números.

[Calentamiento global en Colombia.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: El Día Mundial del Medio Ambiente, Junio 6 de 2011, Instituto Universitario de Caldas.

[Caldas en la biorregión cafetera.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2014) Ponencia para el Foro “Por la Defensa del Patrimonio Público, las Fuentes de Empleo y el Bienestar de los Caldenses”. U. de Caldas.

[Calibración del método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana.](#) Montenegro Padilla, Luis Fernando (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Caracterización de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel de los Llanos Orientales Colombianos. Rueda Dimate, Diana Carolina (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. <http://www.bdigital.unal.edu.co/52308/>

[Clasificación y caracterización de suelos tropicales en un talud de la autopista Medellín –Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario.](#) Escobar T., Luis Javier (2011) Maestría thesis, U.N. de Colombia.

[Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2018) Escuela de Arquitectura y Urbanismo. U.N. de Colombia Sede Manizales.

[Clasificación de Macizos Rocosos.](#) Juan Montero Olarte. Profesor U. N. de Colombia y Miembro de la Sociedad Colombiana de Geotecnia.

[Clima andino y problemática ambiental.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: IV Foro Ambiental La Merced

[Compactación de Suelos.](#) Escuela De Ingeniería En Construcción. U. Católica De Valparaíso.

[Consistencia del Suelo – Límites de Atterberg – Índices.](#) Blog de Santiago Osorio R.

[Construcción de túneles en macizos heterogéneos.](#) Mario Peláez González.

[Construcción de túneles en roca.](#) Universidad Politécnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports

Costa Pacífica, Amenaza y Riesgo sísmico. Hans Jurgen Meyer y Andrés Velásquez. OSSO. Desastres & Sociedad. N°1. La Red. 1993.

[Criterios geotécnicos para el diseño de excavaciones en suelos blandos mediante el método de elementos finitos.](#) Olaya, Diego Armando (2015)

Curso de estabilidad de taludes. GARCIA, Manuel; BELTRAN, Lisandro; GONZALEZ, Álvaro. Posgrado en geotecnia Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1993.

Curso de mecánica de rocas. CORREA, Álvaro; HERNANDEZ, Félix; GONZALEZ, Álvaro. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 1994.

[Descripción del macizo rocoso: introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterráneas.](#) Suárez Burgoa, Ludger Oswaldo (2014). Escuela de Minas. Medellín.

[Algunos procedimientos constructivos para túneles urbanos.](#) Alejo O. Sfriso (2006). UBA, AOSA SRL y VS Consultores SA

[Diálogos con el Territorio y Gestión del Riesgo Natural.](#) Duque-Escobar Gonzalo. Especialización en Geografía. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la U. de Caldas.

[Dinámicas del clima andino colombiano.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2003) Circular RAC.

[Diseño y construcción de cimentaciones.](#) Garza Vásquez, Luis (2004)

[Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz - Tolima.](#) Gonzalo Duque-Escobar (2013).

[Desarrollo y ruralidad en la región cafetalera.](#) Gonzalo Duque-Escobar.

[Documentos del Repositorio Institucional de la U. N.](#) Autor: Duque Escobar, Gonzalo

[Edafología General.](#) Medina O., Héctor (1969). In: Memoria sobre las actividades docentes e investigativas en la Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

[Efectos de los ciclos de carga – descarga y humedecimiento – secado en el comportamiento geomecánico de rocas lodosas de los Andes Colombianos.](#) Torres Suárez, Mario Camilo (2011) Doctorado thesis, U. N. de Colombia.

Ensayo de compactación giratoria en suelos como alternativa al ensayo de compactación Proctor. Javier F. Camacho, Oscar J. Reyes, Dolly F. Méndez. (2007). Ciencia e Ingeniería Neogranadina Vol. 17-2.

[El Agua en el Suelo.](#) Blog de Santiago Osorio R.

[El aporte ético y técnico de la UN en Aerocafé.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2011)

El Círculo de Mohr. Fundamentos y Aplicaciones. Carlos Ramiro Vallecilla Bahena (2004). Universidad Santo Tomás.

[El concreto y otros materiales para la construcción.](#) Gutiérrez de López, Libia (2003)

[El Desarrollo Urbano y Económico de Manizales.](#) Gonzalo Duque-Escobar (2015) Documento para el Colectivo "Subámonos al bus del POT".

[El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz.](#) Gonzalo Duque-Escobar (2015)

Engineering Geology. Christopher C. Mathewson. Texas A&M University. Bell & Howell Company. USA 1981.

[Ensayo Corte Directo.](#) Universidad Católica de Valparaíso. Escuela De Ingeniería En Construcción. Chile.

[Estudio de acuíferos artesianos en forma de lentes de arena.](#) Granados Robayo, Jorge Armando (2011) Ingeniería e Investigación; núm. 4 (1982); 2248-8723 0120-5609. -

[Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT.](#) Álvaro J. González G. X JORNADAS GEOTECNICAS DE LA INGENIERIA COLOMBIANA - SCI -SCG – 1999.

Estudio de Amenazas por Erosión, Deslizamientos y Avalanchas, GARCÍA LÓPEZ, Manuel. 1991. In: Seminario Taller sobre Identificación y Mitigación de Riesgos, 1991, MELGAR. Seminario Taller sobre Identificación y Mitigación de Riesgos.

[Estudio de las Amenazas Naturales.](#) GARCÍA LÓPEZ, Manuel. 1982. In: V Jornadas Geotécnicas, 1988, BOGOTÁ.

[Estudio del terreno y obras correctivas en el sitio de El Cune municipio de Villeta Cundinamarca, con aplicación del método observacional.](#) Palomino S., César A. (2011). Maestría thesis, U.N. de Colombia.

Estudio Geológico, Geotécnico e Hidráulico de la Ladera Sur del Barrio La Sultana, Manizales. Aquaterra Ingenieros Consultores SA. Manizales 2004.

Estudio para la evaluación de riesgo por crecientes en la cuenca alta del río Chinchiná y sus afluentes. Carlos Enrique Escobar Potes. CIFOR LTDA. Manizales, 1998.

[Estudio y control de la erosión hídrica](#). León Peláez, Juan Diego (2001) . Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Medellín.

[Evaluación comparativa de la capacidad de carga en cimentaciones profundas. Fórmulas analíticas y ensayos de carga](#). Barreto Maya, Ángela Patricia And Valencia González, Yamile And Echeverri Ramírez, Oscar (2013) Boletín Ciencias de la Tierra; núm. 33 (2013); 93-110 0120-3630.

[Evaluación de asentamientos por consolidación generada por descenso del nivel freático](#). Garzón Rodríguez, Juan Carlos (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Evaluación de la respuesta sísmica no-lineal de un depósito de suelo pre-consolidado de la ciudad de Cali](#). Castro Villamarín, Néstor (2011). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Evaluación de las propiedades geotécnicas de suelos arenosos tratados con bacterias calcificantes](#). Gómez Paniagua, Edilma Lucía. Universidad Nacional de Colombia.

[Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas utilizando pavimento reciclado, ligantes hidráulicos y emulsiones asfálticas](#). Pablo José Hernández Hernández (2014) Universidad Nacional de Colombia.

Evolution of mountainous pipeline design in Colombia. GARCÍA LÓPEZ, Manuel. In: International Conference on Terrain and Geohazard Challenges Facing Onshore Oil and Gas Pipelines, 2004, Londres. 2004.

[Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia](#). Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) Universidad Nacional de Colombia. Manizales

[FUERZAS producidas en un punto dentro de la masa del suelo debidas al peso del suelo y a las presiones del agua](#). Hernández Rodríguez, Félix (2011). Ingeniería e Investigación; núm. 25 (1991); Ingeniería e Investigación; núm. 25 (1991);

[Generación de presión de poros en procesos cíclicos no drenados](#). Chaves Agudelo, Julián Fernando (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Geología estructural\) – PDF \(Capítulo 11\)](#). Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Geomecánica de las laderas en Manizales](#), Duque Escobar, Gonzalo y Duque Escobar Eugenio. Idea Manizales.

[Geotecnia aplicada a la construcción de túneles](#), SALVADOR NAVARRO CARRASCO, RAÚL PRIMITIVO ORTIZ GÓMEZ, JUAN ANTONIO RUIZ MARÍN. España (2003)

[Geotecnia de Oleoductos en Colombia](#). GARCÍA LÓPEZ, Manuel; FRANCO LATORRE, R. In: VIII Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, 1987, CARTAGENA. MEMORIAS. 1987. v.3.

[Geotecnia y medioambiente](#). Duque Escobar, Gonzalo. Univesidad nacional de Colombia, Sede Manizales.

[Gestión del riesgo](#). Duque Escobar, Gonzalo. Anexo para el Manual de Geología para Ingenieros.

[Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia](#). Duque Escobar, Gonzalo (2008) Documento de trabajo.

[Guía de Laboratorio para obtener los Límites de Atterberg](#). Fuente: trabsuelos.blogspot.com

[Hidráulica de aguas subterráneas](#). Vélez Otálvaro, María Victoria (1999) Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos (11). Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Fac. de Minas. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

[Historia de la Geotecnia - Precursores de la Ingeniería Geotécnica](#). Blog de Santiago Osorio R.

[Inestabilidad de laderas en el trópico andino - Caso Manizales](#). Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: Aplicación de técnicas cartográficas y topográficas al análisis de terrenos con problemáticas geoambientales. Programa de Ingeniería Ambiental UCM. 24 de mayo de 2012,

[Influencia de la succión en la resistencia al corte de suelos reconstituidos derivados de rocas lodosas](#). Melo Zabala, Xiomara Elizabeth (2010)

Ingeniería Geológica. Luis I. González de V.; Mercedes Ferrer; Luis Ortuño; Carlos Oteo. Pearson Educación. Madrid, 2002.

[Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero PCC](#). Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: Taller Internacional Estudios del Paisaje, 30 de julio de 2012, Manizales, Colombia.

[Interacción suelo-túnel, con revestimiento sometido a carga anisotrópica](#). Echeverría Rodríguez, Jaime (2013) Maestría thesis U.N. de Colombia.

[Introducción a algunas propiedades fundamentales de los suelos](#). Ing. Julio Roberto Nadeo U.T.N. e Ing. Julio Roberto Nadeo U.N.L.P. Argentina.

[Introducción a la ciencia del suelo](#). Jaramillo Jaramillo, Daniel Francisco (2002) Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

[La Consistencia del Suelo](#). Blog de Santiago Osorio R.

[La corriente en chorro de bajo nivel sobre los Llanos Venezolanos de Sur América](#). Eddison R. Torrealba y Jorge A. Amador (2009) Centro de Investigaciones Geofísicas y Escuela de Física, Universidad de Costa Rica.

[La Inestable Tierra](#). Basil Booth, Frank Fitch. Salvat Ed. Barcelona. 1986.

[La Ingeniería de explotación integral – Énfasis en el cinemático](#). Correa Arroyave, Álvaro (2011)

[La neotectónica regional del territorio colombiano y su relación con algunas amenazas geológicas](#). Jean Francois Toussaint. III Conferencia Col. de Geología Ambiental. Armenia 1994.

[Las Aguas Subterráneas](#). Félix Trombe. Muy Interesante. Ed. Orbis 1986.

[Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America](#). ESTEVA, L., RASCON, O y GUTIERREZ, A. IV Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica. 1969.

[Libro Mecánica de Suelos II](#). Rodolfo C. Medrano Castillo (2008). Instituto Tecnológico de Tehuacán.

[Llega el invierno, ¿pero la vulnerabilidad qué?](#) Duque Escobar, Gonzalo (2011) U.N. de Colombia.

[Macizo rocoso\) – PDF \(Capítulo 12:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Manizales: un diálogo con su territorio](#). Duque Escobar, Gonzalo (2014) Documento de discusión.

[Manual de Geología para Ingenieros](#) Duque-Escobar Gonzalo. Universidad Nacional de Colombia,

[Manual de Túneles de Carretera](#). Asociación Mundial de Carreteras PIARC (2011).

[“Manual Práctico de Voladura de EXSA”](#). EXDA S.A. Perú, 2000.

[Materia y energía\) – PDF \(Capítulo 2:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Mecánica básica para estudiantes de ingeniería](#). Salazar Trujillo, Jorge Eduardo (2007) Apoyo Académico - Obras civiles. U.N. de Colombia.

[Mecánica de los Suelos](#). Duque Escobar, Gonzalo y Escobar P Carlos E. U.N. de Col. Manizales, 2002.

[Mecánica de Suelos I. Geotecnología](#). Lucio Gerardo Cruz V. Universidad del Cauca.

[Mecánica De Suelos Y Cimentaciones](#). Crespo Villalaz

[Mecánica de suelos y cimentaciones](#). Ángel Muelas Rodríguez. Universidad Nacional de Educación a Distancia (Son 5 Capítulos: modifique el final del el link).

[Mecanismos de ingeniería de rocas para taludes y excavaciones subterráneas](#). HUDSON, JOHN A. and CASTRO CAICEDO, ALVARO J. (Trad. 2011)

[Mecanismos de licuación y flujo de suelos granulares durante sismos](#). Alarcón Guzmán, Adolfo (2011) Ingeniería e Investigación; núm. 16 (1987): Edición especial primer encuentro de ingenieros civiles egresados de la Universidad Nacional; 44-54 Ingeniería e Investigación; núm. 16 (1987): Edición especial primer encuentro de ingenieros civiles egresados.

[Mejoramiento de suelos finos a partir de la electroósmosis](#). Restrepo Mosquera, Luis Ernesto (2014). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Meteorización y Suelos](#). Juan Montero. U.N. de Colombia

[Métodos de excavación de túneles mediante perforación y voladura](#). Julio González. Fieras de la ingeniería. Construcción. 2010

[Métodos para determinar la recarga de acuíferos](#). Vélez Otálvaro, María Victoria and Vásquez Ariza, Lina María (2004) In: Primer Congreso Colombiano de Hidrogeología, Medellín, Colombia.

[Métodos tradicionales de excavación de túneles. I.T de Obras Públicas](#). PCM/ITOP (2011), España.

[Modelación estocástica de la variabilidad anual e interanual de la humedad del suelo en Colombia bajo diferente cobertura vegetal](#). Poveda Jaramillo, Germán and Ramírez Osorio, Jorge Mario and Jaramillo Robledo, Álvaro (2001) In: IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y VIII Congreso Argentino de Meteorología, 7-11 de mayo, Buenos Aires, Argentina.

[Montañas y teorías orogénicas\) – PDF \(Capítulo 14:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Notas sobre sismos y volcanes en Colombia](#). Duque-Escobar, Gonzalo (2012). U.N. de Colombia.

[Nuevo Método Austriaco NATM.](#) E.T.S.E.C.C.P.B.- U.P.C.

[Obtención de parámetros geomecánicos con piezocono sísmico en el campus de la Universidad Nacional sede Bogotá.](#) Rodríguez Granados, Andrés (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Observaciones Geotécnicas del Proyecto Metro de Bogotá.](#) ALVARO J. GONZALEZ G.(2014) - Ing. Civil UN-

[Origen y formación de los suelos.](#) Prof.: Ing. Augusto José Leoni. Fac. de Ing. U.N.L.P.

[Posibles efectos de la fricción negativa en pilotes inducida por el fenómeno de subsidencia en suelos de Bogotá.](#) Hewitt Valbuena, Víctor Manuel (2011) Maestría thesis, U.N. de Colombia.

[Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia.](#) Duque Escobar, Gonzalo and Moreno Orjuela, Rubén Darío and Ortiz Ortiz, Doralice and Vela Murillo, Norma Patricia and Orozco Muños, José Miguel (2014). Carder, C. Aldea Global, y Cars Socias

[Propiedades Hidráulicas de los Suelos.](#) Enxeñería do terreo. Universidad Católica De Valparaíso.

[Propuesta de técnica para la determinación del comportamiento del terreno en excavaciones subterráneas con base en un túnel exploratorio: Caso túnel de la línea.](#) Pérez Pérez, Diana Marcela (2012) Maestría thesis, U.N de Colombia.

[Propiedades Índices de los Suelos: Porosidad, Relación de vacíos, Humedad, Gravedad Específica, Pesos Específicos, Densidad Relativa.](#) Ing. M.Sc. Dante Bosch. GEOTECNIA - UNIDAD IV.

[Química de la acidez del suelo.](#) Zapata Hernández, Raul Darío (2002) Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Medellín.

[Química de los procesos pedogenéticos.](#) Zapata Hernández, Raul Darío (2006) Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Medellín.

[Relaciones Lluvias Deslizamientos en la Ciudad de Manizales](#) - Francisco José Cruz Prada. Revista SCIA 48 años. Manizales 2004.

[Relación suelo - agua – planta.](#) Arango Tobón, Julio César (1999) U.N. de Colombia Sede Medellín

[Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería.](#) Salazar Trujillo, Jorge Eduardo (2007) Apoyo Académico - Ingenierías. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. ISBN 978-958-8280-08-0

[Resistencia de materiales: curso programado.](#) P.C.L. Croxton; L.H. Martin, G.M. Mills. (1999). Árbol Editorial.

[Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios \(porce, colombia\).](#) Ramírez Palacio, Álvaro Andrés; Moreno Hurtado, Flavio Humberto. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

[Riesgo en la zona andina tropical por laderas inestables.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2000) In: Simposio Sobre Suelos del Eje Cafetero, Proyecto UTP - GTZ, 8 de Noviembre 2000, Manizales.

[Riesgo en zonas andinas por amenaza volcánica.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2006). Manizales, Caldas, Colombia.

[Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.](#) (II V) Duque Escobar, Gonzalo (2012). Curso Internacional sobre Microzonificación y Planeamiento Urbano. Manizales.

[Rocas ígneas\) – PDF \(Capítulo 7:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Rocas metamórficas\) – PDF \(Capítulo 13:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Rocas sedimentarias\) – PDF \(Capítulo 9:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Sismos\) – PDF \(Capítulo 15:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Sismos y volcanes en Colombia.](#) Gonzalo Duque-Escobar. Compilación en

[Sismos y volcanes en el Eje Cafetero: Caso Manizales.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2012) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource] U.N. de Colombia.

[Sistema solar\) – PDF \(Capítulo 3:](#) Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

[Soil Physics.](#) Kohnke, H (1972) New York USA. Mc Graw Hill.

[Temas de ciencia, tecnología, innovación y educación.](#) Duque Escobar, Gonzalo (2012). Compilación.

[Temas verdes para la Ecorregión Cafetera...](#) Duque-Escobar, Gonzalo. Compilación.

Texto guía mecánica básica. De la Cruz Morales, Claudia Jenny (2014) Documento de trabajo. U.N. de Colombia

Túnel Manizales. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio

Túneles: videos y documentos. Compilación de Gonzalo Duque-Escobar (2014)

UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga. Gonzalo Duque-Escobar (2015).

Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas urbanas expuestas a amenazas naturales. Anne Catherine Chardon. El ejemplo andino de Manizales, Colombia. 2002.

Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas. Duque Escobar, Gonzalo

Variación de la microestructura de un suelo residual cuando se somete a procesos de compresión y descarga. Espinosa Rodríguez, María Jaqueline (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Volcanes... Gonzalo Duque-Escobar. Compendio.

Vulcanismo) - PDF (Capítulo 6: Manual de geología para ingenieros. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

.....



Geomecánica

Duque Escobar, Gonzalo y Carlos Enrique Escobar Potes (2016) Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Los Autores:

Carlos Enrique Escobar Potes: CvLAC -RG

http://scienti1.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=000014303

Gonzalo Duque Escobar: CvLAC -RG <https://godues.wordpress.com/2012/09/12/gonzalo-duque-escobar-cvlac-rg/>