

2- MATERIALES TÉRREOS

2.1 INTRODUCCIÓN.

El estudio de los materiales pétreos (suelos– materiales intermedios-roca), aborda varias facetas como los elementos que integran las obras civiles, en forma pasiva, como en los taludes, interactuando con estructuras de contención en muros o en edificaciones y como elementos de construcción que integran terraplenes y túneles.

El análisis es soportado en la geología, en la mecánica de suelos y en la mecánica de rocas, con miras a que el ingeniero realice el diseño de proyectos con un mínimo de problemas de construcción, por ejemplo cuando se trata de la estabilidad de un talud, el diseño de un terraplén, el control de erosión o socavación por encoles o descoles de estructuras hidráulicas de una vía, los estudios de vías nuevas o existentes, las fuentes de material, la optimización de explotaciones, la evaluación de riesgos geotécnicos, la patología de estructuras, la selección de corredores para infraestructura como polductos, vías y canales, entre otros.

Un suelo, un material intermedio o una roca puede formar la cimentación de una estructura o la estructura misma, donde atienden, en unos casos, y aplican en otros, esfuerzos y sufren deformaciones que los afectan. Estos materiales están siendo alterados por agentes externos como el clima, el flujo de agua superficial y sub-superficial, los eventos naturales, la flora, la fauna y las actividades antrópicas, entre otros.

Como estructura, los suelos, los materiales intermedios y la roca presentan resistencias muy variadas: la resistencia de los suelos es baja, la de los materiales intermedios está gobernada por la matriz de un conglomerado o la composición granulométrica de un material granular grueso, y la resistencia de la roca depende del estado del macizo rocoso, principalmente del grado de alteración, del fracturamiento, la disposición de las estructuras del macizo como fracturas, diaclasas, foliaciones, todos ofrecen respuestas diferentes y los problemas a abordar tienen diferentes complejidades debido a las deformaciones, la compresibilidad, el control de humedad, la resistencia mecánica; mientras que la roca sana y dura, puede plantear problemas de economía o de estabilidad.

Los suelos son materiales que se clasifican como cohesivos y granulares. Los materiales granulares como gravas arenas y limos no plásticos, poseen mejor capacidad de soporte y baja compresibilidad, las arenas y los limos son erosionables, pueden presentar potencial de licuación, perder capacidad de soporte por flujos de agua ascendente o tubificación cuando los suelos de terraplenes quedan mal compactados o deficientemente drenados.

Los suelos cohesivos presentan otras propiedades que son evaluadas en la geotecnia: la permeabilidad es baja, son compresibles, la resistencia es menor, tienen cohesión, el ángulo de fricción interna es más bajo que el de los materiales granulares y presenta dificultades vinculadas

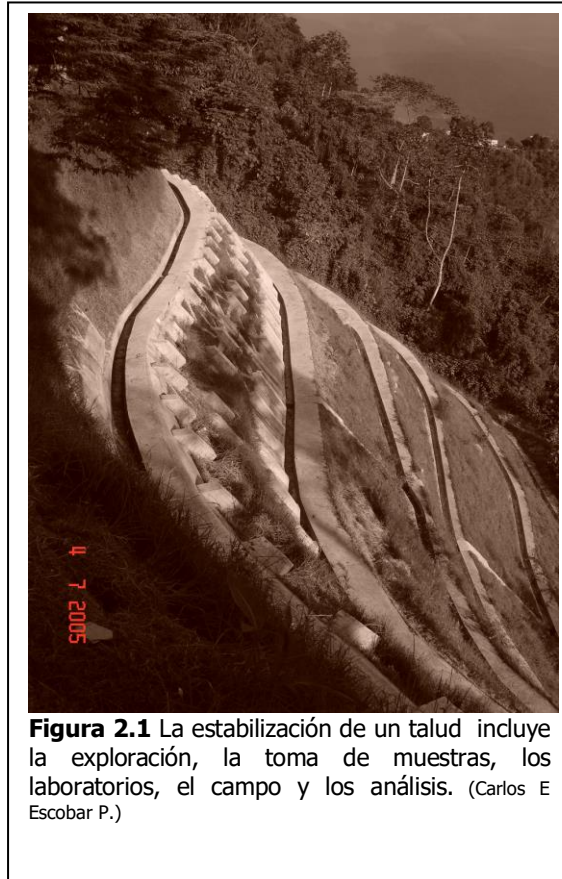


Figura 2.1 La estabilización de un talud incluye la exploración, la toma de muestras, los laboratorios, el campo y los análisis. (Carlos E Escobar P.)

con la magnitud y el tiempo que puede demorar las deformaciones que pueden afectar una estructura, la excavación para la conformación del suelo y la construcción de terraplenes son muy sensibles a las condiciones del clima, principalmente durante los inviernos.

Los limos orgánicos son compresibles, inestables y sus parámetros mecánicos son muy heterogéneos, motivos que hacen que sean removidos del todo o en parte y sustituidos por materiales friccionantes o de mejor calidad.

Las rocas ígneas sanas son duras y admiten taludes de corte vertical. La excavación es más difícil y la rugosidad superficial baja, demandaría un material intermedio para apoyar una estructura en tierra.

Las rocas sedimentarias son menos duras, facilitan la excavación, pero pueden tener estratos deleznable, estratificación desfavorable, o capas desleibles como yesos o margas y presentan comportamiento anisotrópico.

Las rocas metamórficas varían en calidad, desde las cristalinas a las foliadas; las más frecuentes, como esquistos y pizarras no siempre exigen explosivos y no siempre resultan estables.

2.2 RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y DE VOLUMEN DEL SUELO.

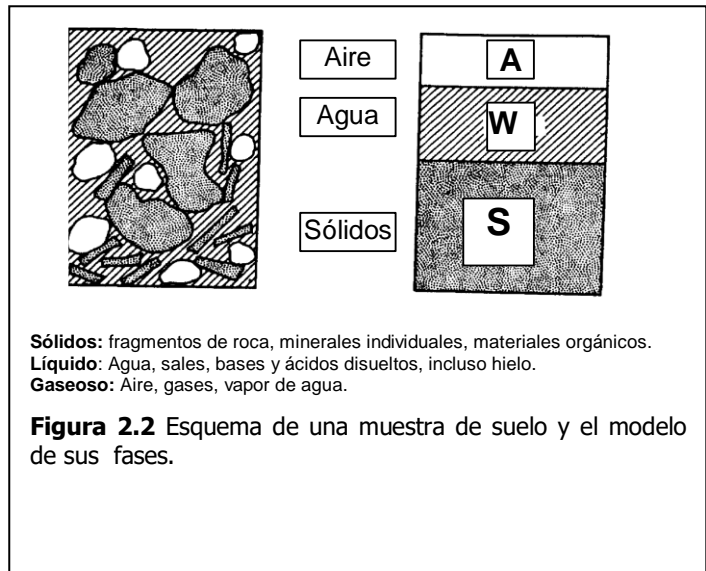
El suelo tiene tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico).

Las fases líquida y gaseosa del suelo comprenden el volumen de vacíos (V_v), y la fase sólida constituye el volumen de sólidos (V_s).

Un suelo está totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta de dos fases, la sólida y la líquida.

La relación entre las fases constitutivas del suelo (sólida, líquida y gaseosa), permite avanzar sobre el análisis de la distribución de las partículas por sus tamaños y sobre el grado de plasticidad del conjunto.

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



Las relaciones entre las fases del suelo son necesarias en la geotecnia para la determinación de la magnitud de los esfuerzos. La relación entre las fases, la granulometría y los límites de Atterberg se utilizan para clasificar el suelo e identificar su comportamiento.

Modelar el suelo es colocarlo en fronteras, sin olvidar que el suelo es un modelo discreto y se incluye en la modelación con dos parámetros, "e" y "η" (relación de vacíos y porosidad).

El agua adherida a la superficie de las partículas (agua adsorbida), se incluye en la fase sólida. La fase líquida está conformada por el agua libre que se puede extraer a 60°C o a 110°C cuando después de 18 o 24 horas, el peso del suelo no disminuye y permanece constante.

2.2.1 Relaciones de volumen: η, e, D_R, S, C_A

En la geotecnia es necesario determinar las relaciones de volumen de las fases del suelo con el fin de determinar la variación del peso que sufre el material con el cambio de humedad, la permeabilidad del suelo, su grado de saturación, su densidad relativa para determinar si está o no compacto, son muy útiles en los análisis de la geotecnia.

a. Porosidad η.

Es la probabilidad de encontrar vacíos en el volumen total. Varía entre 0 < η < 100% (se expresa en %). En un sólido perfecto tiene η = 0; en el suelo η ≠ 0 y η ≠ 100%.

$$\eta = \frac{V_v}{V_T} * 100(\%) \quad (2.1)$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.2)$$

b. Relación de vacíos e.

Es la relación entre el volumen de vacíos y el de los sólidos. Su valor puede ser e > 1 y alcanzar valores muy altos. En teoría 0 < e → ∞.

En suelos compactos, las partículas sólidas que lo constituyen tienen un alto grado de acomodo y la capacidad de deformación bajo cargas será pequeña. En suelos poco compactos el volumen de vacíos y la capacidad de deformación serán mayores.

c. Densidad relativa D_R. (Compacidad relativa)

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 las relaciones de vacíos en sus estados más sueltos y más denso. (Norma ASTM D4253 y D4254)

$$D_R = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 \quad (2.3)$$

Una forma equivalente de esta expresión en términos de las respectivas densidades del suelo es:

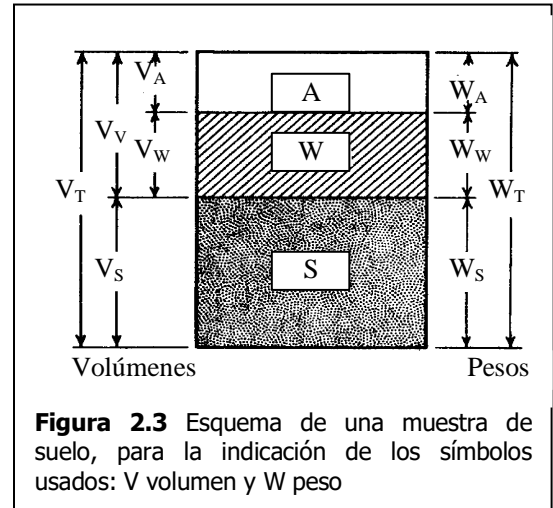


Figura 2.3 Esquema de una muestra de suelo, para la indicación de los símbolos usados: V volumen y W peso

$$D_R = \frac{\rho_{\max} (\rho - \rho_{\min})}{\rho (\rho_{\max} - \rho_{\min})} \times 100 \quad (2.4)$$

Este parámetro permite determinar si el suelo está cerca o lejos de los valores máximo y mínimo de densidad que se pueden alcanzar. Además $0 \leq D_R \leq 1$, siendo más resistente el suelo cuando $D_R \approx 1$ y menor cuando $D_R \approx 0$. En suelos granulares, $D_R < 35\%$ es flojo, $35\% \leq D_R \leq 65\%$ es medio y $D_R > 65\%$ es denso.

d. Grado de saturación S (%).

Es la proporción en que los espacios vacíos de un suelo o una roca contienen un fluido (agua, gas, petróleo). Usualmente se expresa como un porcentaje en la relación con el volumen total de vacíos. Relación porcentual entre: a) el volumen del agua en una masa de suelo o roca. b) el volumen total de los espacios intergranulares (vacíos). Su valor fluctúa entre $0 \leq S \leq 100\%$. Físicamente en la naturaleza $S \neq 0\%$, pero admitiendo tal extremo:

$S = 0\% \Rightarrow$ suelo seco

$S = 100\% \Rightarrow$ suelo saturado.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (2.5)$$

e. Contenido de humedad: ω

Es la relación, en %, del peso del agua del espécimen, al peso de los sólidos. El problema es ¿cuál es el peso del agua? Para tal efecto existen varias formas de agua en el suelo, y unas requieren más temperatura y tiempo de secado que otras para ser eliminadas. En consecuencia, el concepto "suelo seco" también es arbitrario, como lo es el agua que se pesa en el suelo de muestra. Suelo seco es el que se ha secado en el horno, a temperatura de $60^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}$, hasta peso constante durante 24 ó 18 horas.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} * 100 \text{ (en \%)} \quad (2.6)$$

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%.

NOTA: En compactación se habla de humedad óptima ω_o , la humedad de mayor rendimiento, con la cual la densidad del terreno alcanza a ser máxima.

f. 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 del estado seco γ_d hasta el saturado γ_{sat} como muestra la relación 2.10, en la que el estadio intermedio supone valores de S entre 0 y 1, dependiendo del menor o mayor contenido de humedad del suelo. Queda establecido entonces que el concepto difiere del de densidad y también que:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \quad (2.7) \quad \text{y} \quad \gamma_{\text{sat}} = \frac{W_{\text{Sat}}}{V_T} \quad (2.8); \quad \gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \quad (2.9) \quad \gamma_T = \frac{W_T}{V_T} \quad (2.10)$$

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 de compactación, el que se puede valorar con la porosidad.

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

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

Los suelos bien compactados presentan pesos unitarios de 2,20 Ton/m³ a 2,30 Ton/m³, en γ_d para gravas bien gradadas y gravas limosas. En la zona del viejo Caldas, las cenizas volcánicas presentan pesos unitarios entre 1,30 y 1,70 Ton/m³.

g. 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:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (2.11)$$

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

h. 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 . La gravedad específica de la fase sólida (G_s) que es de vital importancia por describir el suelo y la fase líquida (G_w) que se asume es 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, aunque están asociados a los valores de los minerales constituyentes de la fase sólida del suelo, son: Gravos 2.65 a 2.68; Arenas 2.65 a 2.68; Limos 2.66 a 2.70 y Limos 2.68 a 2.80. En general los suelos presentan valores de G_s comprendido entre 2,5 y 3,1 (adimensional).

$$G_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} ; \quad G_w = \frac{\gamma_w}{\gamma_0} \quad (2.12)$$

Una relación básica entre la ω , S , e y G_s es:

$$\frac{W_w}{W_s} = \frac{V_w * \gamma_w}{V_s * \gamma_w * G_s} \quad \left(\text{ya que } G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s} * \frac{1}{\gamma_w} \right)$$

$$\frac{W_w}{W_s} = \frac{V_w}{V_v} * \frac{V_v}{V_s} * \frac{1}{G_s} \quad \left(\text{cancelamos } \gamma_w \text{ e introducimos } \frac{V_v}{V_v} \right)$$

$$\omega = \frac{S * e}{G_s} \Rightarrow \omega * G_s = S * e \quad (2.13)$$

Otra relación fundamental surge de:

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

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

$$\gamma_T = \left[\frac{G_s + S * e}{1 + e} \right] * \gamma_w \quad (2.14)$$

$$\gamma_{SAT} = \left[\frac{G_s + e}{1 + e} \right] * \gamma_w \quad (2.15)$$

$$\gamma_d = \left[\frac{G_s}{1 + e} \right] * \gamma_w \quad (2.16)$$

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

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_s + W_w}{V_T} = \frac{W_s}{V_T} \left[1 + \frac{W_w}{W_s} \right] \Rightarrow \boxed{\gamma_T = \gamma_d (1 + \omega)} \quad (2.17)$$

2.2.2 Consistencia y plasticidad.

En mecánica de suelos, sólo se utiliza para los suelos finos plásticos que dependiendo del contenido de agua y su mineralogía, fluyen sin romperse. La consistencia de la arcilla seca es alta y húmeda es baja.

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

Tabla 2.2 Límites para los cuatro estados de los suelos finos Atterberg 1911.

Crece la ω	Estado líquido	⇒	Límite líquido	W_L	LL
	Estado plástico	⇒	Límite plástico	W_P	LP
	Estado semi – sólido	⇒	Límite de retracción	W_S	LR
	Estado sólido				

Un suelo está en estado líquido (arcilla o limo) cuando se comporta como un fluido viscoso, se deforma por su propio peso y su resistencia al corte es casi nula. 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 y al intentar moldearlo, se desmorona. Si se seca más, a un punto en el cual su volumen ya no se reduce por la pérdida de agua, y el color se torna de un tono más claro, el estado del suelo se define como sólido.

El estado plástico se da en un rango estrecho de humedades, comprendidas entre los límites líquido y plástico. Este rango genera el Índice de Plasticidad IP, definido así:

$$IP = W_L - W_P \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{diferencia de contenido de} \\ \text{humedades en los LL Y LP} \end{array} \right. \quad (2.18)$$

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

a. Índice de liquidez IL.

El contenido de humedad natural, ω , que presenta una arcilla o un limo en el campo, puede compararse con sus límites W_p, W_L mediante el Índice de Liquidez, IL, así:

$$IL = \frac{\omega - \omega_P}{IP} * 100 \quad (\text{en } \%) \quad (2.19)$$

Si $IL \rightarrow 100\%$, el suelo en campo está cerca al LL.

Si $IL \rightarrow 0\%$, el suelo en campo está cerca al LP.

Pueden presentarse arcillas con $IL < 0$, cuando $\omega < W_p$.

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 en láminas y tamaño microscópico, es alta, dependiendo la plasticidad del suelo, del contenido de arcilla. Skempton (1953) expresó esta

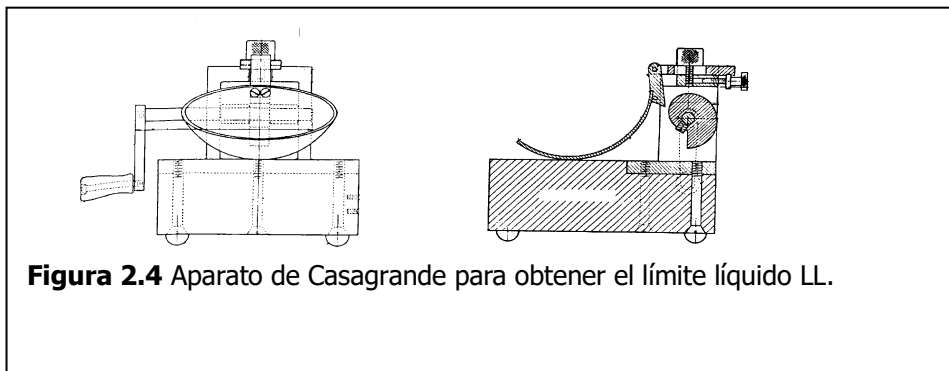


Figura 2.4 Aparato de Casagrande para obtener el límite líquido LL.

relación matemáticamente con la actividad A de la arcilla, así:

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de arcilla}} \Rightarrow \% \text{ de arcilla} = \% \text{ en peso } W_S \text{ de partículas con } \phi < 2\mu\mu \quad (2.20)$$

- 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 montmorilbnita es alta. Ejemplo, $A = 7,20$

b. El límite líquido LL.

Es el contenido de humedad ω_L requerido para que la muestra, en el aparato de Casagrande (Figura 2.4) cierre una ranura de $\frac{1}{2}$ " de amplitud, a los 25 golpes generados a la cápsula de bronce, con un ritmo de dos golpes por segundo.

c. El límite plástico LP.

Es el menor contenido de humedad ω_P para el cual el suelo se deja moldear. Este se logra cuando, tomando bolas de suelo húmedo, se pueden formar rollitos de $\frac{1}{8}$ " de diámetro sobre una superficie plana, lisa y no absorbente.

d. El límite de retracción LR (o L. 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 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 , y el cual se logra conociendo el peso del mercurio desplazado por el suelo seco, operación que es delicada; así se tiene:

$$LR = \frac{(W_i - W_f) - (V_i - V_f) \gamma_w}{W_f} * 100 \quad (2.21)$$

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 LR se denomina también límite de contracción del suelo.

e. Índice de consistencia, IC (o Índice de de liquidez)

Es la 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. Puede tener valores negativos o superiores a 100%

$$IC = \frac{\omega_L - \omega}{\omega_L - \omega_P} * 100 \quad (2.22)$$

f. Índice fluidez, I_f .

Es la 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 humedad de un suelo y su límite plástico, y b) su índice de plasticidad.

$$I_F = \frac{W - W_P}{IP} \quad (2.23)$$

2.3 OTROS MATERIALES

En geotecnia es común encontrar materiales intermedios conformados por suelo y bloques de piedras o rocas, macizos rocosos fracturados y meteorizados, otros conformados por rocas intercaladas con materiales muy alterados, todos como el resultado de la actividad volcánica, la tectónica, la inestabilidad de materiales que generan depósitos de tipo coluviales (Gravedad), aluviales (Agua), fluvio-volcánicos originados por la actividad volcánica, deshielo, inestabilidad de masas y los flujos por los valles de cauces torrenciales hasta depositarse en los valles más amplios.

a) Materiales granulares.

Los materiales granulares están conformados por partículas gruesas de diferentes diámetros en estado drenado o seco, como el caso de zonas desérticas, lechos de ríos o depósitos que no se dejan muestrear por métodos convencionales, ni se pueden realizar ensayos en estado inalterado.

Para la caracterización de estos materiales, la obtención de pesos y volúmenes se debe acudir a otros métodos indirectos, donde, con el apoyo de los ensayos de campo, la fotografía y ensayos de laboratorio sobre muestras alteradas se conocen los rangos de sus parámetros.

En el caso de los conglomerados el peso unitario es un valor medio entre el peso unitario de la matriz del suelo y la gravedad específica de los bloques. La resistencia del material está gobernada por los parámetros mecánicos de la matriz y la permeabilidad si bien corresponde al suelo que conforma la matriz, se pueden presentar presiones piezométricas debido a la variación de las áreas de las secciones de flujo por la presencia o no de bloques impermeables.

Cuando los materiales son granulares, o son depósitos gruesos, roca muy fracturada y meteorizada o saprolito, los parámetros se pueden obtener por métodos indirectos con el apoyo de ensayos de campo de Penetración Estándar (SPT) o conos de penetración, todos se realizan con el apoyo de equipos de hincado que permiten determinar el número de golpes de una pesa (martillo) que cae desde una altura constante para que el muestreador avance una distancia determinada en el material que se está ensayando, y por medio de correlaciones se determinan los parámetros físicos y mecánicos del material.

El ensayo de Penetración Estándar (SPT) constituye el penetrómetro dinámico abierto de uso más común, es un tubo partido en dos cascotes, ensamblados por dos terminales. El superior cuenta con una rosca que permite conectar el toma-muestra a las varillas de perforación, el inferior cuenta con unas dimensiones estándar diámetros, ángulos y aberturas.

La resistencia del suelo a la penetración se mide por el número de golpes "N", necesarios para hincar el SPT 30 cm. La masa para realizar la hincada pesa 63,7 Kg, cae desde una altura de 76,2 cm. Se inicia el hincado hasta que se ha introducido 15 cm. A partir de este momento se comienzan a contar los golpes para penetrar 15 cm, hasta hincar 30 cm. Son con más de 100 golpes no hay avance del hincado, se considera el rechazo y se suspende el ensayo.

Cuando el ensayo se realiza por debajo del nivel freático, el número de golpes para la hincada debe corregirse según la siguiente fórmula (Terzaghi y Peck 1948):

$$N = 15 + \frac{1}{2}(N' - 15) \quad (2.24)$$

En donde N' es el número de golpes medidos en el ensayo.

La obtención de los pesos de los conglomerados se apoya en la toma de fotografías, con el apoyo de una escala del material que se quiere analizar. Con la fotografía y el programa Autocad se hace la medición de las áreas de los bloques y de la matriz, y con ellos se hace la ponderación. En campo se hace la toma de muestras inalteradas de la matriz y de los bloques. En laboratorio se hace la obtención del peso unitario de cada uno de los materiales y se procede a obtener el rango de los pesos unitarios del material.

En suelos granulares y en macizos rocosos fracturados se obtienen a partir de los ensayos de penetración estándar en campo, y por medio de correlaciones se obtiene el rango de los pesos unitarios de los materiales.

Tabla 2.3 Propiedades Comunes de los Suelos no Cohesivos, según HUNT. Tomado del Manual de Ingeniería a de Taludes. Pag 132

Material	Compacidad	Dr (%)	N	Densidad Seca γ_d (Ton/m ³)	Relación de vacíos e	Ángulo de fricción (°)
GW: Gravos bien gradadas, mezclas de grava y de arena	Densa	75	90	2,21	0,22	40
	Medianamente densa	50	55	2,08	0,28	36
	Suelta	25	< 28	1,97	0,36	32
GP: Gravos mal gradadas, mezclas de gravas y arenas	Densa	75	70	2,04	0,33	38
	Medianamente densa	50	50	1,92	0,39	35
	Suelta	25	< 20	1,83	0,47	32
SW: Arenas bien gradadas, mezclas de arenas y gravas	Densa	75	65	1,89	0,43	37
	Medianamente densa	50	35	1,79	0,49	34
	Suelta	25	< 15	1,70	0,57	30
SP: Arenas mal gradadas, arenas con gravas	Densa	75	50	1,76	0,52	36
	Medianamente densa	50	30	1,67	0,60	33
	Suelta	25	< 10	1,59	0,65	29
SM: Arenas limosas	Densa	75	45	1,65	0,62	35
	Medianamente densa	50	25	1,55	0,74	32
	Suelta	25	< 8	1,49	0,80	29
ML: Limos inorgánicos, arenas muy finas	Densa	75	35	1,49	0,80	33
	Medianamente densa	50	20	1,41	0,90	31
	Suelta	25	< 4	1,35	1,00	27

A partir de los ensayos de penetración Estándar (SPT), existen diversas correlaciones que permiten estimar el ángulo de fricción (ϕ), por medio de la densidad relativa (D_r). Los materiales granulares

gruesos de gravas afectan el ensayo, elevando el valor de N. En arenas gruesas y gravas, la saturación no afecta el ensayo. En arenas finas y limos, localizados por debajo del nivel freático, se debe corregir el valor de N mediante la ecuación 2.24. La tabla 2.3 presenta los valores de los parámetros de suelos granulares obtenidas a partir de los ensayos de Penetración Estándar (SPT), empleados en las prácticas de ingeniería.

Otra estrategia para obtener los parámetros de los suelos granulares la propone el profesor Álvaro Gonzales, con el apoyo de correlaciones a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de SPT se puede calcular los valores de los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción; así como los pesos unitarios de las diferentes unidades de suelo, todos con miras a determinar la capacidad portante de los materiales de cimentación, o que conforman un talud.

El método aproximado para la evaluación de los parámetros efectivos de resistencia c' y ϕ' , mediante el empleo de los datos de SPT¹ (N en golpes/pie) se soporta en la obtención de valores estimados, para tener valores razonables de los materiales granulares o intermedios.

El valor normalizado de penetración N para 12" (1 pie » 30 cm), se expresa en golpes/pie y es la suma de los dos últimos valores registrados. El ensayo se dice que presenta "rechazo" si:

- (a) N es mayor de 50 golpes/15 cm.
- (b) N es igual a 100 golpes/pie.
- (c) No hay avance luego de 10 golpes.

Aunque se denomina "estándar", el ensayo tiene muchas variantes y fuentes de diferencia, en especial a la energía que llega al toma-muestras, entre las cuales sobresalen (Bowles, 1988):

1. Equipos producidos por diferentes fabricantes.
2. Diferentes configuraciones del martillo de hinca, de las cuales tres son las más comunes: (a) el antiguo de pesa con varilla de guía interna, (b) el martillo anular ("donut") y (c) el de seguridad.
3. La forma de control de la altura de caída: (a) si es manual, cómo se controle la caída y (b) si es con la manila en la polea del equipo depende de: el diámetro y condición de la manila, el diámetro y condición de la polea, del número de vueltas de la manila en la polea y de la altura real de caída de la pesa.
4. Si hay o no revestimiento interno en el tomamuestras, el cual normalmente no se utiliza.
5. La cercanía del revestimiento externo al sitio de ensayo, el cual debe estar alejado.
6. La longitud de la varilla desde el sitio de golpe y el tomamuestras.
7. El diámetro de la perforación.
8. La presión de confinamiento efectiva al tomamuestras, la cual depende del esfuerzo vertical efectivo en el sitio del ensayo.

Para casi todas estas variantes hay factores de corrección a la energía teórica de referencia E_r y el valor de N de campo debe corregirse de la siguiente forma (Bowles, 1988):

$$N_{\text{corr}} = N \times C_n \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \quad (2.25)$$

En la cual:

- N_{corr} : valor de N corregido
- N : valor de N de campo
- C_n : factor de corrección por confinamiento efectivo
- η_1 : factor por energía del martillo ($0.45 \leq \eta_1 \leq 1$)

¹ González G. A. J. Estimativo de parámetros efectivos de resistencia con SPT. www.scg.org.co/wp-content/uploads/ESTIMATIVOS-DE-PARAMETROS-DE-RESISTENCIA-CON-SPT.pdf.

- η_2 : factor por longitud de la varilla ($0.75 \leq \eta_2 \leq 1$)
- η_3 : factor por revestimiento interno de tomamuestras ($0.8 \leq \eta_3 \leq 1$)
- η_4 : factor por diámetro de la perforación (> 1 para $D > 5"$, = 1.15 para $D = 8"$)

Para efectos de cálculos comunes se considera que $\eta_2 = \eta_3 = \eta_4 = 1$ y solamente se tienen en cuenta los factores η_1 y C_n .

Corrección por Energía (η_1)

Se considera que el valor de N es inversamente proporcional a la energía efectiva aplicada al martillo y para obtener un valor de N_{e1} , a una energía dada " e_1 ", sabiendo su valor N_{e2} a otra energía " e_2 " se aplica la relación:

$$N_{e1} = N_{e2} \times \frac{e_2}{e_1} \quad (2.26)$$

Corrección por Confinamiento (C_n)

Este factor fue identificado desde hace tiempo (Gibbs y Holtz, 1957) y se hace por medio del factor C_n de forma tal que:

$$N_{corr} = N_1 = C_n \times N \quad (2.27)$$

Para su cálculo se ha estandarizado a un esfuerzo vertical de referencia $\sigma'_{vr} = 1 \text{ kg/cm}^2 \approx 1$ atmósfera = P_a como función del parámetro R_s , definido por:

$$R_s = \frac{\sigma'_{vr}}{P_a} \quad (2.28)$$

Y se obtiene C_n con el parámetro de Skempton:

$$C_n = \frac{2}{1 + R_s} \quad (2.29)$$

Con los ensayos realizados en campo y teniendo en cuenta lo expuesto por el Ing. Álvaro Jaime Gonzales en su artículo, se hacen los estimativos para de los parámetros de resistencia, trazando una gráfica con los esfuerzos efectivos verticales vs los esfuerzos cortantes, se obtiene una línea de tendencia de la cual el corte con el eje "Y" se obtiene el valor de la cohesión y de su pendiente el ángulo de fricción.

El ángulo de fricción interna del suelo, es soportado en los conceptos propuestos por Meyerhof 1.965, Schmertmann 1.977 y Shioi-Fukuni 1.982 (Japanese National Rail Way).

Para adoptar el valor del ángulo de fricción interna del suelo se toma la correlación a partir del número de golpes obtenido en el campo denominado $N_{spt, campo}$ corregido por energía o N_{60} , el cual se obtiene con la aplicación de la siguiente fórmula (González, 1999):

$$N_{60} = N_{spt} \times \left(\frac{45}{60} \right) \quad (2.30)$$

La adopción del valor del ángulo de fricción interna equivalente del suelo (ϕ_{eq}) se soporta en la correlación tomada a partir del número de golpes obtenido en el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) propuesta por Kishida para uso en Colombia:

$$\phi = 15 + (12,50 \times N)^{0,5} \quad (2.31)$$

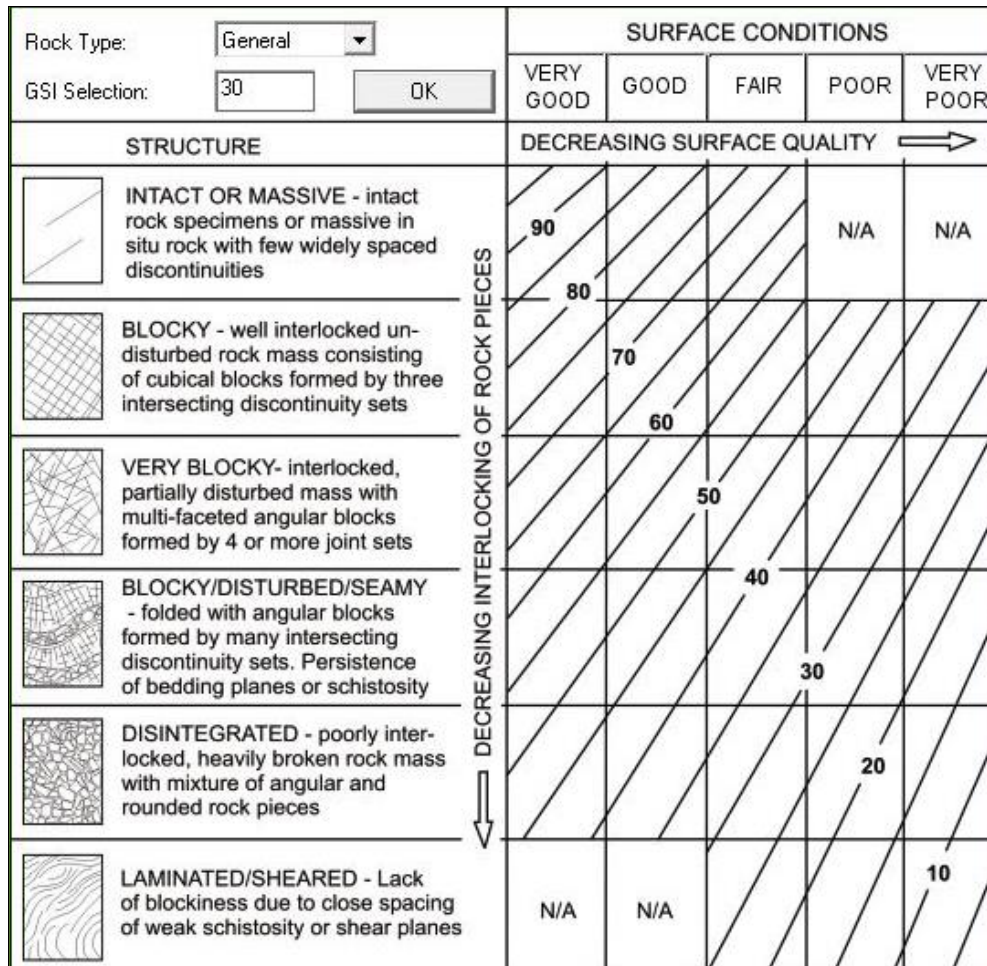
La obtención de los parámetros efectivos de los materiales se apoya en la metodología propuesta por el ingeniero Álvaro Jaime González. Con los datos obtenidos se obtienen valores de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, los cuales permiten calcular una envolvente de falla para el material. La línea de tendencia es realizada a través de una regresión lineal.

b) Macizos Rocosos

Para hacer la caracterización de un macizo rocoso explorado en sondeos sobre roca fracturada, se acude al sistema GSI (Geological Strength Index), Hoek 2006, como una herramienta para estimar los parámetros "s", y "mi". Con el GSI se puede estimar la reducción de la resistencia de un macizo rocoso para diferentes condiciones geológicas, incluyendo macizos débiles.

La caracterización del macizo rocoso está soportada en la verificación visual de la estructura de la roca, en términos del estado de los bloques y de la condición superficial de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas. La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un rango amplio de los tipos de macizos rocosos. La estimación de los parámetros para hallar la resistencia, se soporta en una relación empírica y los procesos asociados a las clasificaciones de la ingeniería de rocas.

Tabla 2.4 Caracterización del macizo rocoso en función de los bloques basado en el entramamiento y las condiciones de las juntas. Adaptada de Hoek (2006)



La determinación del GSI se hace a partir de la **Tabla 2.4** a la que se ingresa por el eje horizontal: donde se identifica el tamaño de los bloques, su composición y estructura, y en el eje vertical se identifican las condiciones que presentan las discontinuidades. Al cruzar los ejes horizontal y vertical, se obtiene un rango de valores de GSI, dispuesto en las líneas diagonales.

El valor de m_i se obtiene de la tabla 2.5, donde se hace la asignación de valores a partir de las características de la roca.

Tabla 2.5 Valores de m_i a partir del tipo y estado de la roca

Tipo de roca	Clase	Textura			
		C	M	F	VF
Sedimentaria	Clástica	Conglomerado	Arenisca	Limolita	Lodolita
m_i		22	19	9	4
Metamórfica	No foliada	Mármol	Chert	Cuarcita	
m_i		9	19	24	
Metamórfica	Foliada	Neiss	Esquisto	Florita	Pizarra
m_i		33	10	10	9

c) Software de análisis Roclab®

Para la determinación de los parámetros de resistencia de un material rocoso compuesto por roca fracturada, se utiliza el software de análisis Roclab®, el cual, mediante el ingreso de los valores de clasificación de la metodología de Hoek–Brown del macizo rocoso observadas en campo, determina los valores de cohesión y del ángulo de fricción equivalentes para un material Mohr–Coulomb.

En la **Figura 1** se presentan los valores de resistencia determinados por el software de análisis, para un esquisto fracturado existente en el subsuelo para la cimentación de una estructura.

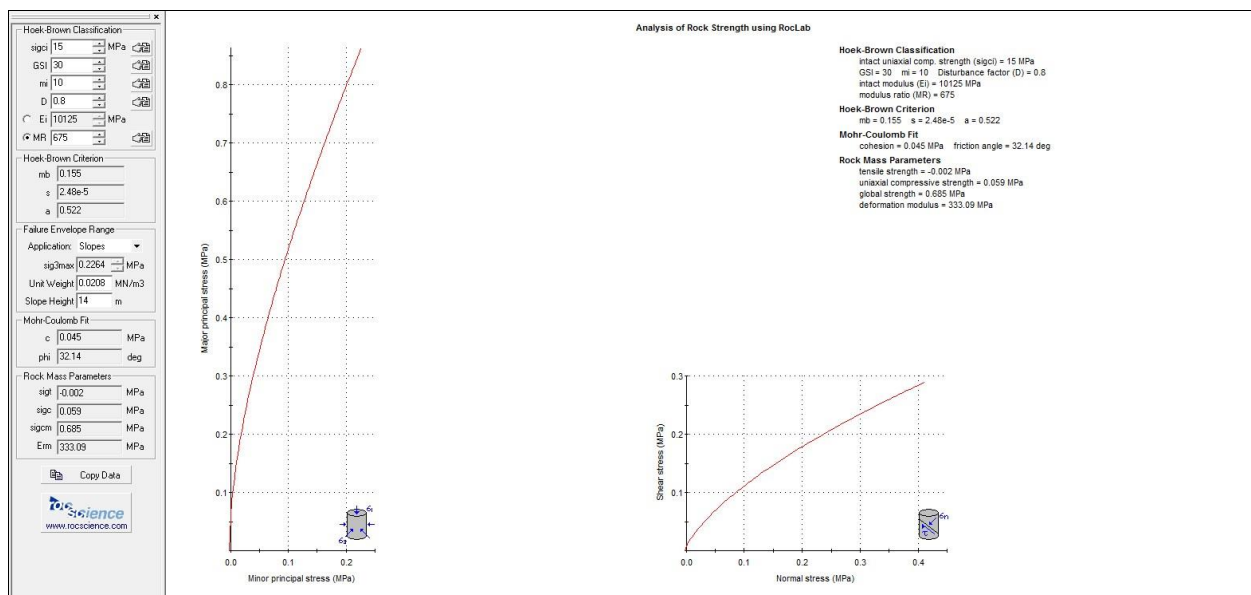


Figura 1 Determinación de parámetros de resistencia para esquistos fracturados

Con el procedimiento se tienen los parámetros de resistencia de un macizo rocoso de peso unitario, cohesión y ángulo de fricción.

2.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

En problemas de pavimentos o vías, no se dispone de expresiones racionales para llegar a soluciones cuantificadas. Por esta razón, se requiere una taxonomía de los suelos en función de su comportamiento, a partir de la clasificación de los suelos, desde la geotecnia.

Agrupar suelos por la semejanza en los comportamientos, correlacionar propiedades con los grupos de un sistema de clasificación, aunque es 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 cuidadoso al utilizar esta valiosa ayuda, ya que 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 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 in situ.

2.4.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS.

Inicialmente se tienen suelos granulares o finos, según se distribuye el material que pasa el tamiz de 3" o 75 mm; el suelo es **fino** cuando más del 50% pasa el T₂₀₀. 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 queda retenido en el T₄.
- S Arena** Sí más del 50% pasa el T₄.

Sufijos

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

Si menos del 5% pasa el T₂₀₀, los sufijos son W o P, según los valores de C_u y C_c. Si más del 12% pasa el T₂₀₀, los sufijos son M o C, dependiendo de WL e IP. Si el porcentaje de finos está entre el 5% y el 12%, se utilizan sufijos dobles (clase intermedia), como ocurre para un suelo denominado GW-GC.

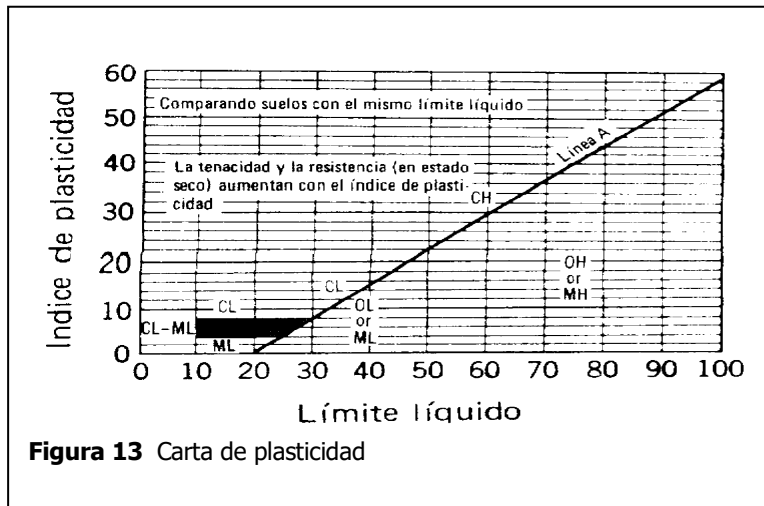
b. Los suelos finos se designan con estos símbolos.

Prefijos

Sufijos

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

Esta clasificación está basada sólo en los límites de Atterberg para la fracción que pasa el T₄₀, y se obtiene a partir de la CARTA DE PLASTICIDAD así:



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Línea A : IP} = 0,73(\text{LL} - 20) \\ \text{Línea U : IP} = 0,9(\text{LL} - 8) \end{array} \right.$$

Sobre la línea A: arcillas inorgánicas.
 Debajo de la línea A: limos y arcillas orgánicas.
 La línea B: LL = 50 separa H de L

Tabla 2.6 Nombres típicos de los materiales.

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.

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

Este sistema propuesto por Arturo Casagrande (1942) lo adoptó 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 LÍMITES Y LA GRANULOMETRÍA.

c. Definición del Grupo SUCS, con la CARTA DE PLASTICIDAD

Se define para gravas (G) y para arenas (S), la situación W o P de acuerdo a dos coeficientes: C_u y C_c ¿cuándo decimos que es GM, GC, SM o SC?

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

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

Adicionalmente, como se señaló atrás

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

Tabla 2.4 Características y uso de los suelos (Grupo del SUCS)

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 ---

2.4.2 Clasificación de la AASHTO.

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1929 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 sub-rasantes y terraplenes.

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

- a) Grueso granulares: 35% o menos pasa el T-200 comprende
 - A-1, si menos del 20% pasa el T-200 y menos del 50% pasa el T-40
 - A-2, si menos del 35% pasa el T-200, (limoso o arcilloso).
 - A-3, si menos del 10% pasa el T-200 y 51% o más pasa el T-40
- b) Suelos fino granulares (grupo limo arcilla): más del 35% pasa el T-200
 - A-4 si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \leq 40\%$
 - A-5 si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \geq 41\%$
 - A-6 si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 40\%$
 - A-7 si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \geq 41\%$

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.

Tabla 2.5 Características de suelos según la AASHTO

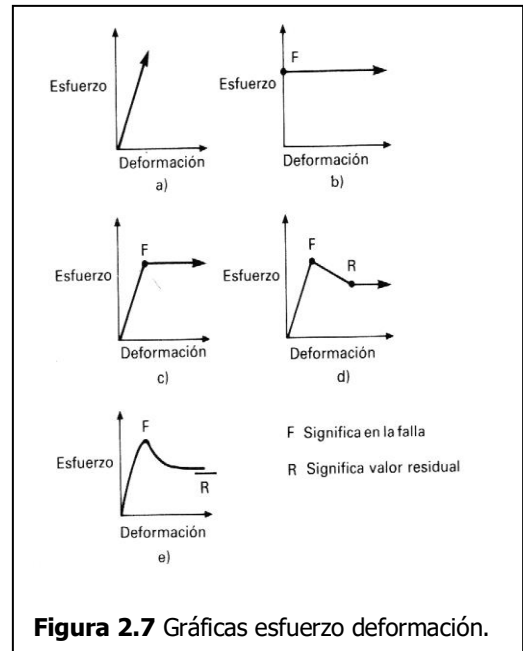


Figura 2.7 Gráficas esfuerzo deformación.

Grupo Suelos.	Permeabilidad	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capilaridad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.
A-1	++	---	--	-	++	++	++
A-2	-	++	+	m	-	M	+
A-3	+	-	--	-	+	+	+
A-4	-	+	+-	+++	-	-	+-
A-5	-	m	++	+++	---	-	--
A-6	---	-	++	++	--	--	-
A-7	--	m	++	++	--	--	--

Valoración escala.

- +++ Sobresaliente.
- ++ Muy alto.
- + Alto.
- m Moderado.
- Deficiente.
- Bajo.
- Muy bajo.

2.5 DEFORMACIONES DEL SUELO, CONSOLIDACIÓN

(σ = esfuerzo; ϵ = deformación)

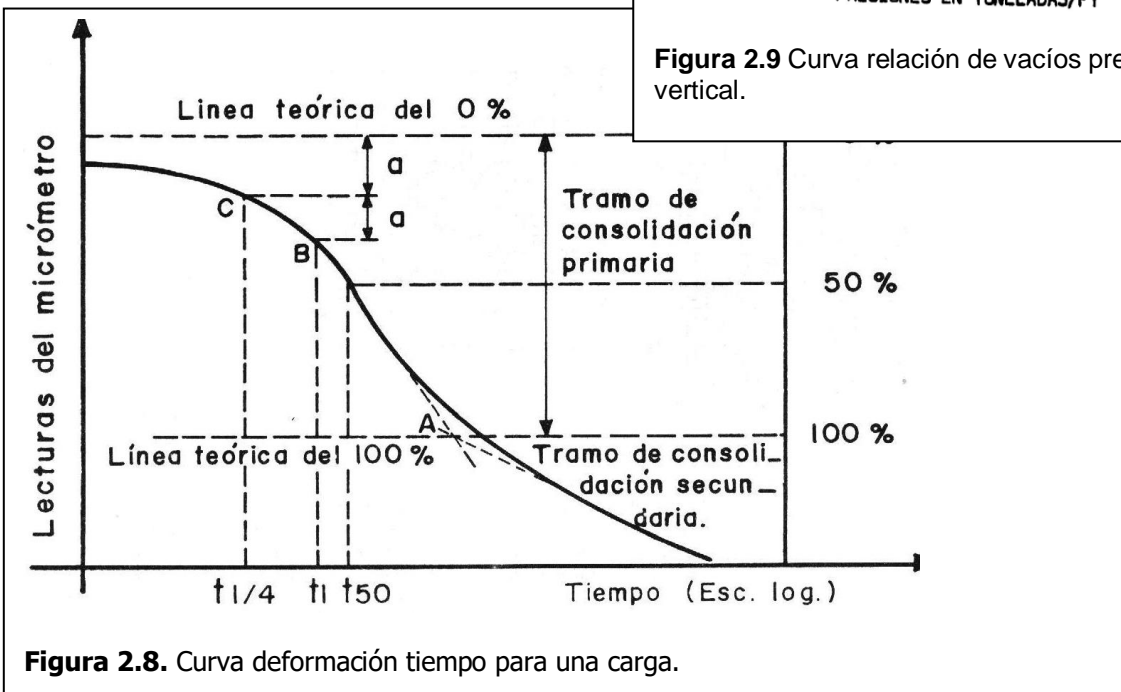
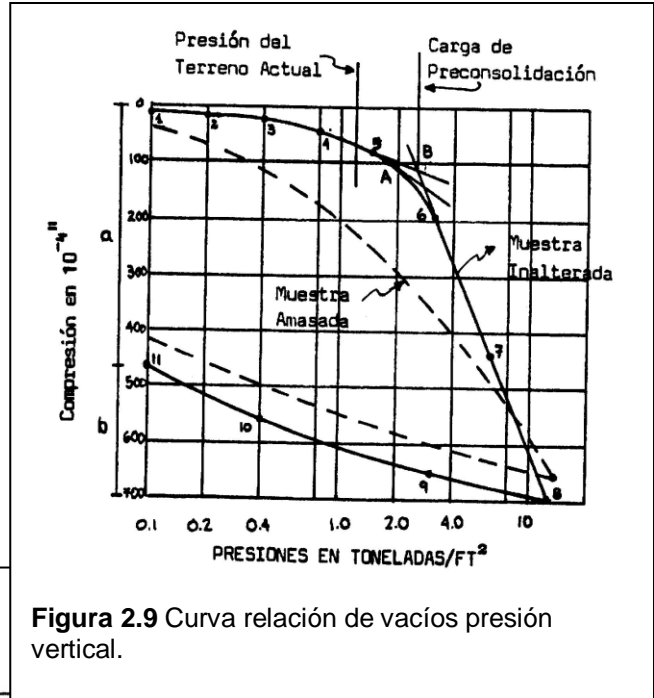
Un suelo puede presentar deformaciones permanentes o no, a causa de las cargas que soporta. Las deformaciones pueden ser:

Deformación elástica: El suelo cambia de forma o de dimensiones sometido a un esfuerzo dentro del rango de comportamiento elástico. La deformación elástica desaparece al cesar la acción de la fuerza que la produce.

Deformación plástica: Cambio permanente, sin ruptura, de la forma o volumen de un suelo. Deformación de un material plástico más allá de su punto de recuperación, acompañada por un proceso de deformación continua, sin incremento de esfuerzo.

Deformación compresiva: En este caso, existe **Reducción de volumen** en el suelo sometido a carga, y la deformación 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 ajuste de la fábrica textural.



La consolidación puede ser PRIMARIA o SECUNDARIA. **Primaria** cuando al cargar el suelo, la reducción del volumen se debe a la expulsión de agua, fenómeno en el que se transfiere la carga soportada por el agua al esqueleto mineral.

Secundaria, cuando la consolidación ocurre por el ajuste del esqueleto mineral y la carga está casi toda soportada por este y no por el agua.

b) Compactación: Es la densificación del suelo por medios dinámicos, con el propósito de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas para fines de ingeniería.

2.5.1 Consolidación.

El ensayo de consolidación consiste en la aplicación de una serie de cargas sobre un espécimen saturado, donde éstas hacen que el agua se evacue por las piedras porosas. Las cargas son incrementales y después de la aplicación de cada una, se registran las deformaciones y los tiempos que duran estas deformaciones (Gráfico de Tiempo-Deformación). También se analiza la gráfica de carga y relación de vacíos. Las cargas se van doblando cada vez y los incrementos se hacen cada 24 horas. Finalmente, la descarga se hace gradual.

Se dibujan las curvas que relacionan compresión P , y relación de vacíos "e".

a. Coeficiente de compresibilidad (a_v)

Relación entre: a) La disminución de volumen, y de la correspondiente relación de vacíos, y b) un incremento dado de esfuerzo en un suelo. El coeficiente de compresibilidad está dado en el ensayo de consolidación por la pendiente de la secante de la curva esfuerzo relación de vacíos, en un intervalo dado de esfuerzos.

b. Coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v).

Llamado también módulo edométrico; es la relación entre el incremento de esfuerzo compresivo y la deformación volumétrica unitaria en el ensayo de consolidación. e_0 es la relación de vacíos del suelo antes de un incremento de carga específico y de interés para el geotecnista.

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta P} \quad (2.27)$$

c. Coeficiente de consolidación C_v .

Valor numérico utilizado en los cálculos de consolidación para determinar el tiempo necesario t , para que se produzca un porcentaje dado de consolidación, U , y un factor tiempo T_u , en una masa de suelo con una longitud de drenaje vertical, H , mediante la expresión:

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad (2.28)$$

Las curvas e-P, no son rectas, como lo son las curvas $\sigma - \varepsilon$ (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").

Aquí la compresibilidad cambia con la magnitud del esfuerzo, y el valor a_v debe ser la pendiente que corresponda con las presiones del terreno.

$$t = \frac{T_u \times H^2}{C_v} \quad (2.29)$$

d. 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, podemos hacer analogía entre S y Δe .

h = altura inicial de la muestra.

S = asentamiento total de la muestra.

$$s = m_v \times H \times \Delta \sigma_v \quad (2.30)$$

Cálculo de asentamiento: $S = f(cc)$

$$\Delta e = C_c * \log\left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}\right)$$

$$S = \frac{C_c}{1 + e_0} H * \log\left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0}\right) \quad (2.31)$$

e. Carga de preconsolidación

Todo suelo tiene una historia geológica de esfuerzos que puede investigarse en las curvas del ensayo de consolidación. En la figura se diferencia, 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.

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. Se traza la asíntota al tramo virgen, y la intersección con la bisectriz genera un punto, cuya abscisa corresponde a la presión de preconsolidación σ_0 .

ARCILLA PRECONSOLIDADA: Es aquella que recibe hoy cargas menores de las que en su historia geológica ha tenido. Esta arcilla es más dura.

ARCILLA NORMALMENTE CONSOLIDADA: Es aquella que nunca en su historia geológica ha soportado las cargas actuales. Esta es más compresible.

Relación de sobreconsolidación RS

$$RS = \frac{\text{Esfuerzo de Preconsolidación}}{\text{Presión de sobrecarga}}$$

Si $RS < 1$, estaremos con cargas inferiores a la presión de preconsolidación, el suelo responde como suelo duro.

Si $RS > 1$, estaremos con cargas superiores a la presión de preconsolidación P_0 y el suelo se comporta como blando.

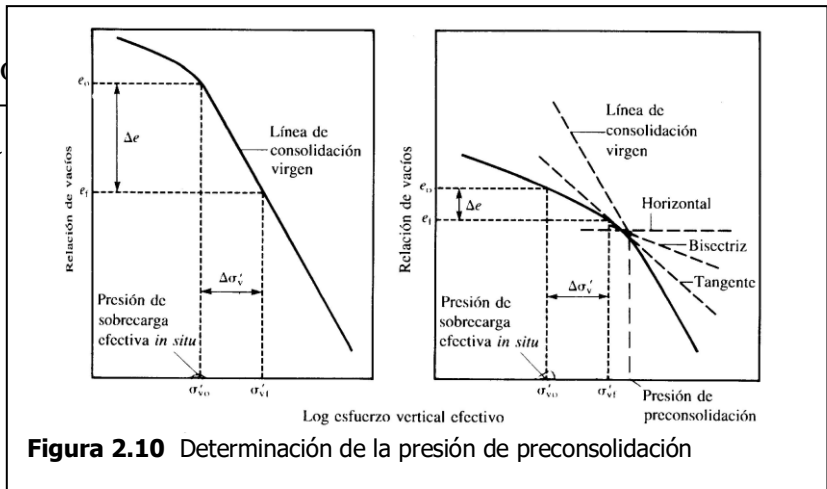


Figura 2.10 Determinación de la presión de preconsolidación

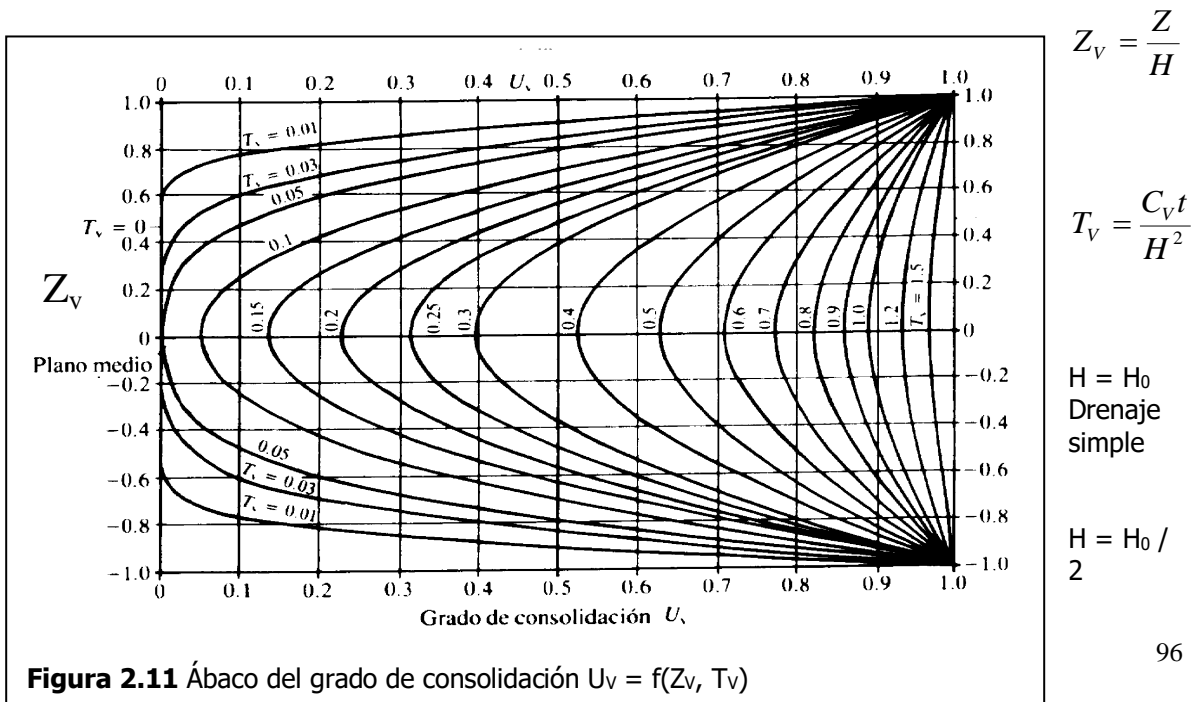
2.5.2 Teoría de la consolidación. (Terzaghi 1925)

Útil para conocer aproximadamente la rata de asentamiento de un suelo por cargas, con base en el resultado del ensayo de consolidación (laboratorio).

Hipótesis

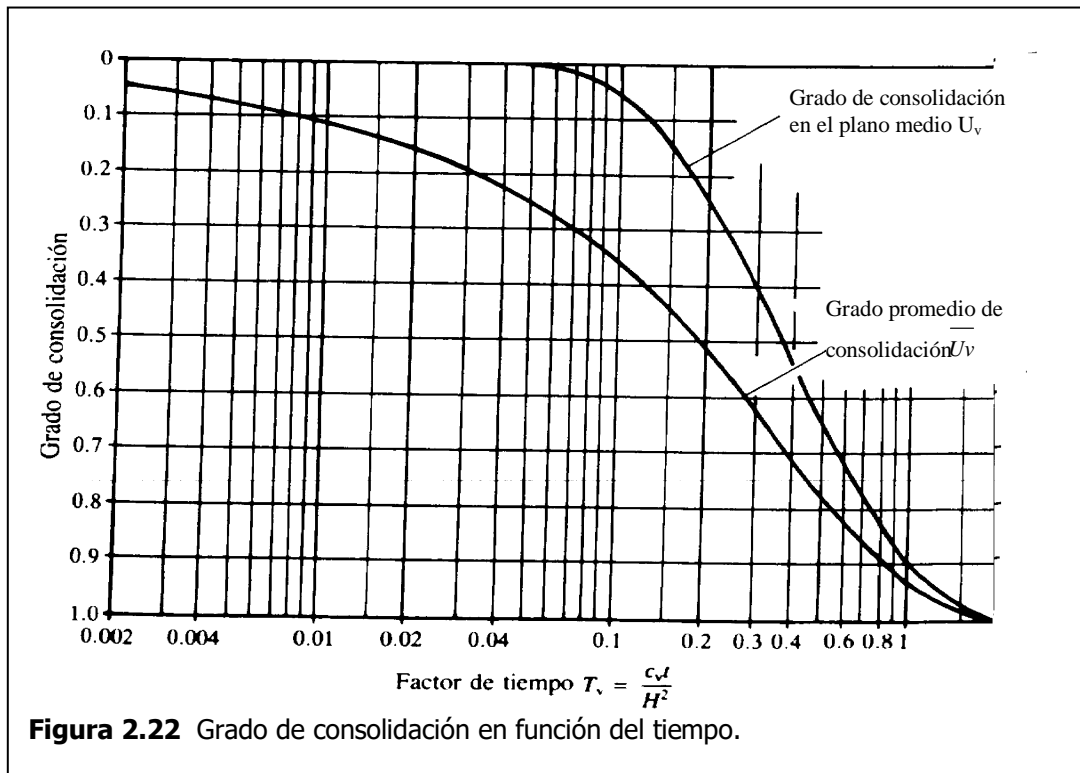
- Estrato de suelo homogéneo, isótropo y de espesor constante.
- Estrato saturado 100% entre 1 ó 2 superficies más permeables.
- Compresibilidad del agua y los granos, despreciable.
- Acciones similares de masas infinitesimales o masas grandes.
- Compresión unidimensional, en dirección normal a la capa 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.

La ecuación del grado de consolidación 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' .



Drenaje doble

Per
o
ade
más
de
los
valores
 U_v , tam
bién
se
req
uier
e el
gra
do
pro
me



Grado de consolidación \bar{U}_v , que refleja el asentamiento en toda la superficie horizontal.

Para valores dados de T_v puede calcularse el \bar{U}_v correspondiente.

En la gráfica de la figura se tiene:

U_v = Consolidación en el plano medio;

\bar{U}_v = Consolidación promedio.

2.6 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:

a) Carga puntual vertical Q (con θ y R)

$$\Delta\sigma_V = \frac{3Q * Z^2}{2\pi(r^2 + Z^2)^{5/2}}$$

$$\Delta\sigma_R = \frac{Q}{2\pi} \left[\frac{3R^2 Z}{(R^2 + Z^2)^{5/2}} - \frac{1 - 2\mu}{R^2 + Z^2 + Z\sqrt{R^2 + Z^2}} \right]$$

$$\Delta\tau_{RZ} = \frac{3Q * R^2 Z^2}{2\pi(R^2 + Z^2)^{5/2}}$$

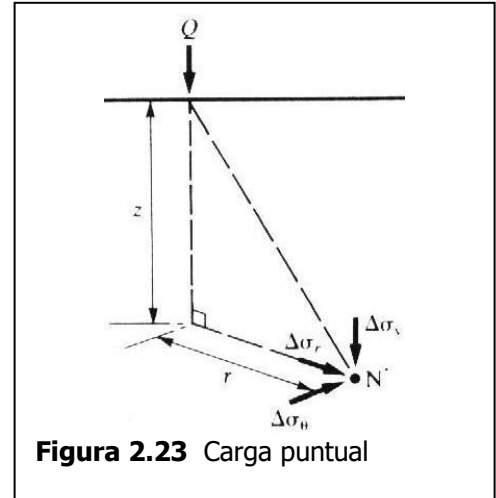


Figura 2.23 Carga puntual

b) Carga lineal vertical de longitud infinita:

$$\Delta\sigma_V = \frac{2Q * Z^3}{\pi(X^2 + Y^2)^2} \quad \Delta\sigma_X = \frac{2Q * \pi * X^2 * Y^2}{\pi(X^2 + Y^2)^2} \quad \Delta\tau_{XZ} = \frac{2Q * X * Z^2}{\pi(X^2 + Y^2)}$$

(10.)

c) Carga uniformemente distribuida sobre una franja infinita

$$\Delta\sigma_V = \frac{q}{\pi} [\alpha + \text{sen } \alpha * \cos(\alpha + 2\beta)]$$

$$\Delta\sigma_X = \frac{q}{\pi} [\alpha - \text{sen } \alpha * \cos(\alpha + 2\beta)]$$

$$\Delta\tau_{XY} = \frac{q}{\pi} \text{sen } \alpha * \text{sen}(\alpha + 2\beta)$$

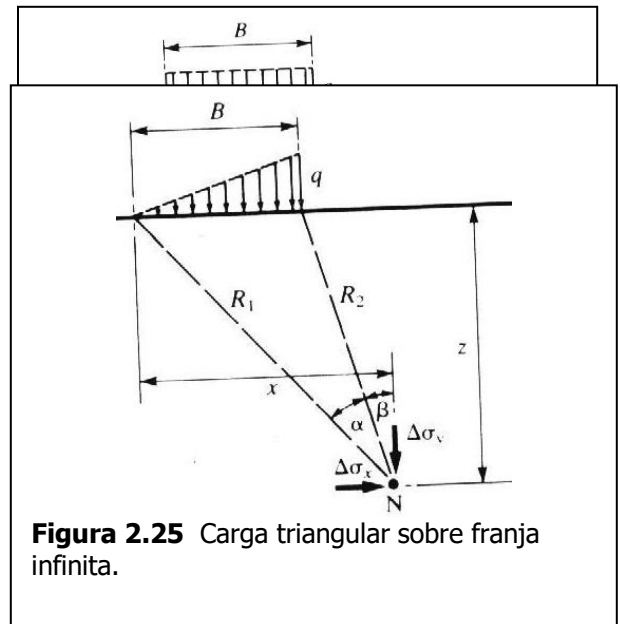


Figura 2.25 Carga triangular sobre franja infinita.

Se puede suponer los casos c) y d) en casos como terraplenes o cortes

d) Carga con distribución triangular sobre franja infinita.

$$\Delta\sigma_V = \frac{q}{\pi} \left[\frac{X}{B} \alpha - \frac{1}{2} \operatorname{sen}(2\beta) \right]$$

$$\Delta\sigma_X = \frac{q}{\pi} \left[\frac{X}{B} \alpha - \frac{Z}{B} \operatorname{Ln} \frac{R_1^2}{R_2^2} + \frac{1}{2} \operatorname{sen}(2\beta) \right]$$

$$\Delta\tau_{XZ} = \frac{q}{2\pi} \left[1 + \cos(2\beta) - \frac{2Z}{B} \alpha \right]$$

e) Carga uniformemente distribuida sobre un área rectangular.

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. I_0 es el FACTOR DE INFLUENCIA. m y n son "intercambiables"

$$\Delta\sigma_V = q \times I_0$$

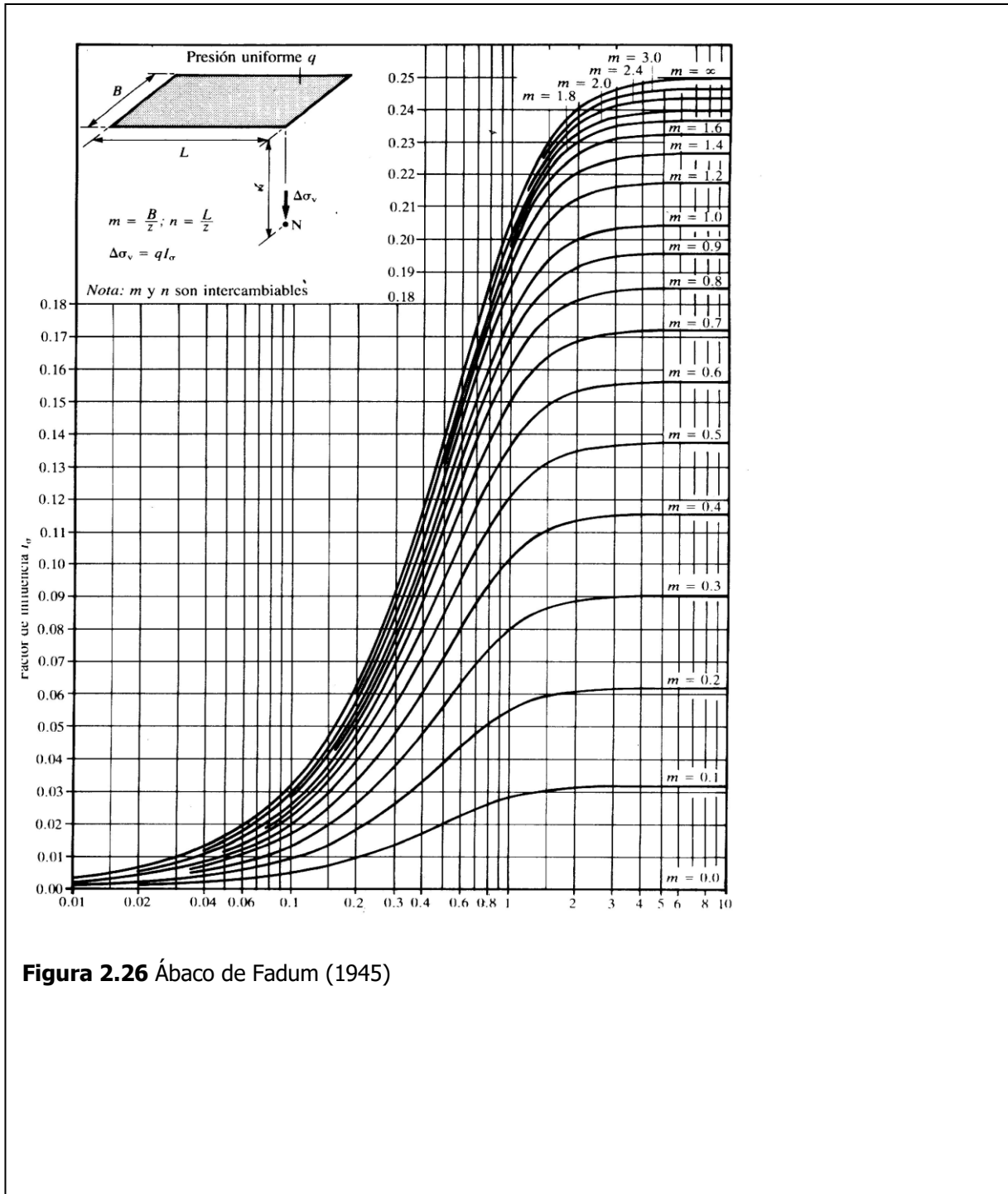


Figura 2.26 Ábaco de Fadum (1945)

f) Carga uniforme sobre un área circular de radio r (Tanque, por ejemplo)

$$\Delta\sigma_v = q \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{3/2} \right\} \Rightarrow \text{Para } R = 0$$

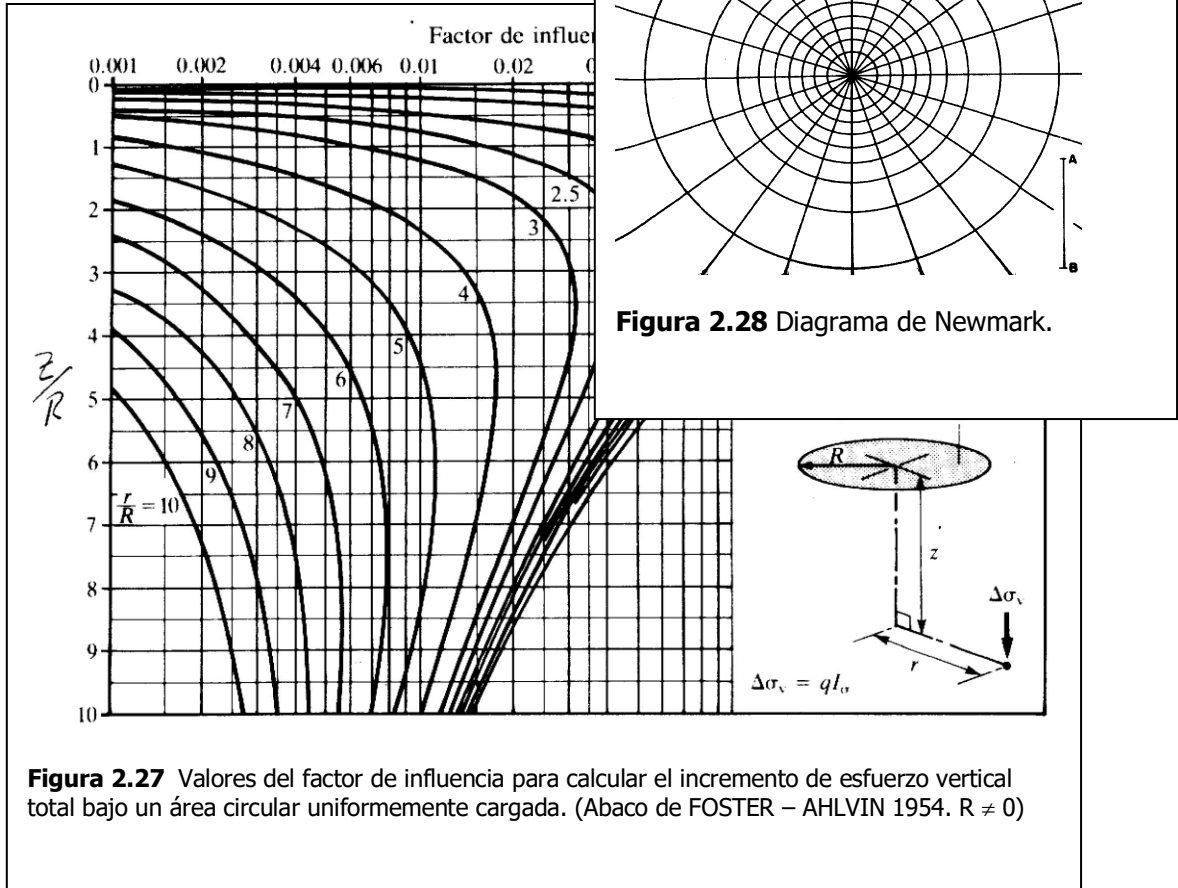


Figura 2.27 Valores del factor de influencia para calcular el incremento de esfuerzo vertical total bajo un área circular uniformemente cargada. (Abaco de FOSTER – AHLVIN 1954. $R \neq 0$)

g) Diagrama de influencia de Newmark (1942), útil para áreas rectangulares en la forma, pero uniformemente cargadas. El método de cálculo es gráfico. El ábaco es una malla o una red de puntos 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 sobre un área A de forma cualquiera. Debo hacer 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 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 cambio de esfuerzo de $0,005q = \frac{q}{200}$.

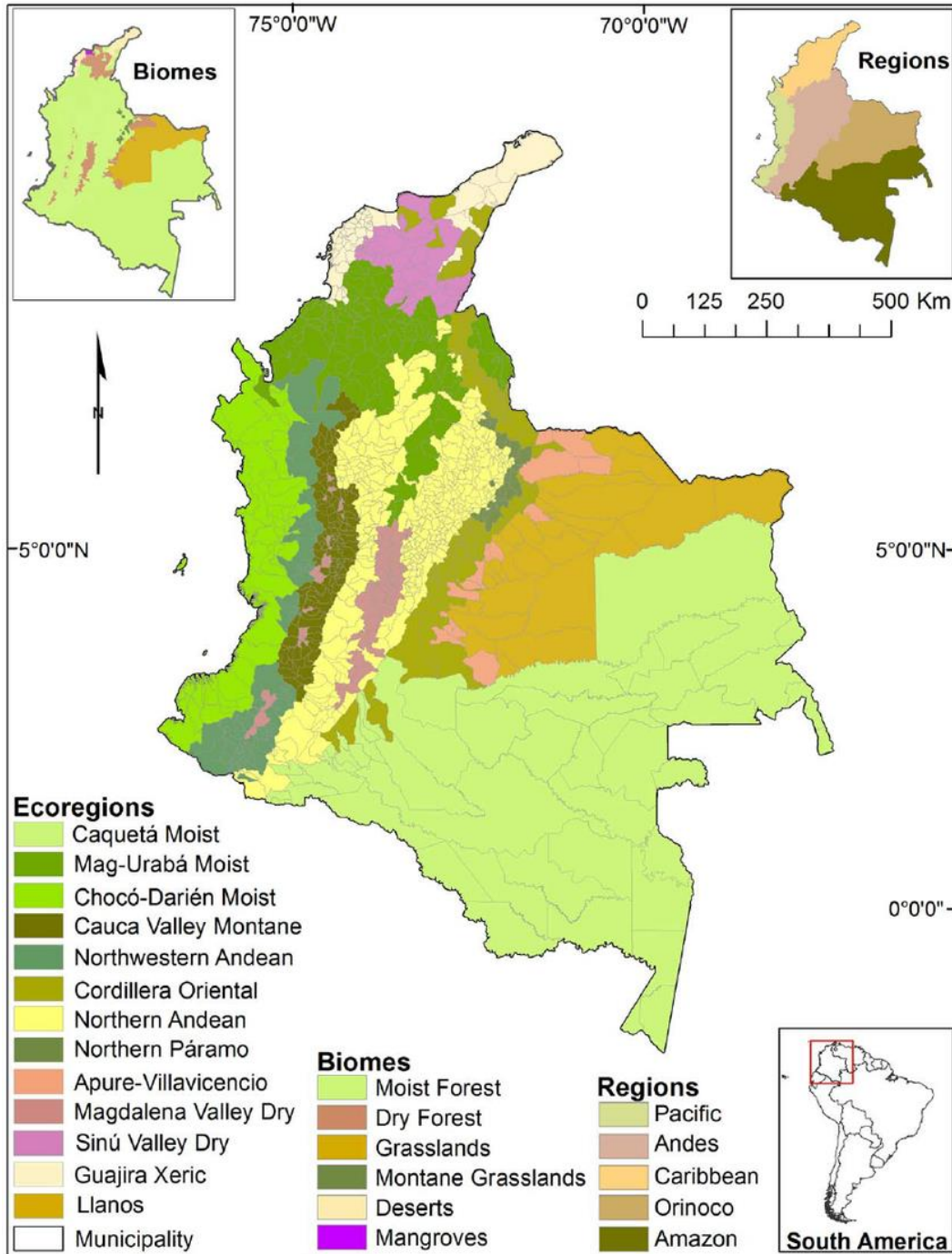
Dibujada la planta a escala, tal que $Z = AB$, y puesto N en el origen, contamos el número n de áreas de influencia, cada una con un valor de influencia I_0 , ocupadas por la planta a escala, sobre el ábaco.

$$\Delta\sigma_v = q * I_0 * n$$

2.7 LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Amenaza climática en el trópico andino

RESUMEN: *Si bien los desastres suelen clasificarse por su origen en naturales y antrópicos, sus consecuencias reflejan la combinación de factores que evidencian la interacción del ser humano con la naturaleza. En Colombia diferencias regionales se definen por una serie de factores muy claros, tales como las características del relieve, la distancia al mar, la altitud, el entorno geológico, el clima y las condiciones del suelo. Con el calentamiento global, se acentúa la amenaza sobre los bosques secos y sobre los humedales de páramo. Para hacer frente a esta amenaza, aunque se ha avanzado tímidamente en desarrollos geotécnicos para enfrentar las demandas ambientales, y en el ordenamiento y manejo de cuencas, urgen medidas correctivas que empleen modelos tecnológicos para una reconversión productiva, basada en la silvicultura, la agroforestería, la producción limpia y el desarrollo rural.*



A pesar de los acuerdos internacionales legalmente obligatorios que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las evidencias que deja el dramático deshielo de las cumbres nevadas de Colombia y las lluvias anticipadas de julio tras un verano prolongado para la región andina del país, permiten afirmar que definitivamente han resultado insuficientes las acciones para prevenir los efectos del calentamiento del planeta,

fenómeno explicado con un 90% de certeza por la actividad humana, y en especial por el uso intensivo de los combustibles fósiles.

Pero lo grave de esta modificación del clima global que surge de un modelo de desarrollo éticamente perverso, donde se proponen investigaciones en ahorro energético y desarrollo de nuevas fuentes de energía, solo para no detener una máquina industrial que desperdicia recursos naturales para mantener un consumo desmedido, son las graves consecuencias resultantes sobre el medio ambiente. De ahí que, frente a la impotencia que se advierte para enfrentar las causas del problema, habrá que considerar fórmulas de adaptación más locales, a fin de mitigar las consecuencias de un fenómeno que se traduce en desastres naturales y mayor pobreza para pueblos enteros, como contrapartida a los apetitos del mercado. Si bien el papel del Estado y la austeridad como valor están de por medio, la preservación y extensión de los bosques, las prácticas agroforestales y silvopastoriles, y la mitigación de la vulnerabilidad del hábitat frente a amenazas como flujos de lodo, deslizamientos e inundaciones, hacen parte de esa adaptación.

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 la cuantía de la gravimetría de cada lugar. Las cuantías esperadas para Colombia son del orden de +3° C en la Región Andina y de +4° C en nuestras regiones costeras y de la Orinoquía y la Amazonía; además de un incremento alto del nivel del mar en el Caribe. Estos valores estimados para un escenario moderado, que serán definitivos para la pérdida de los ecosistemas glaciares de la patria, y graves para nuestras ciudades costeras y ecosistemas del litoral Caribe, afectarán el territorio mediterráneo. En la región andina las condiciones para las zonas de vida cambiarán en unos 500 m hacia niveles de mayor altitud, generando conflictos entre el tamaño de los predios y la nueva aptitud del suelo: por ejemplo la actividad cafetera de estructura minifundista invadirá el escenario de las tierras templadas, y estas el de los bosques de niebla que emigrarán a las praderas de los actuales páramos.

Pero esto no es todo, también se modificará la temperatura de las aguas de los océanos, fenómeno que a su vez provocará una mayor inestabilidad en la dinámica de la atmósfera y por lo tanto el desequilibrio generalizado en la máquina atmosférica, cuyas turbulencias

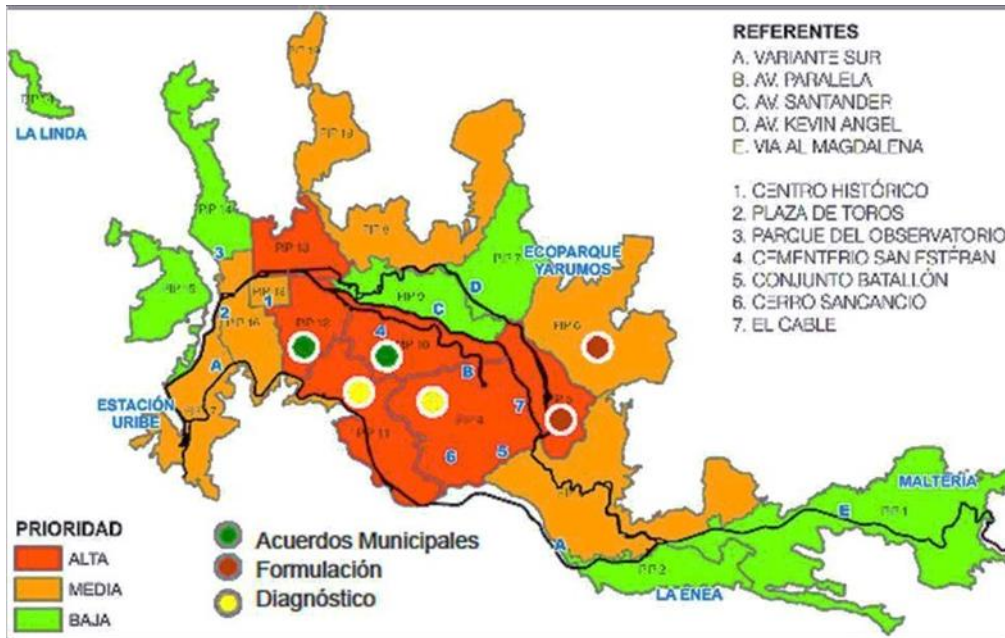
se expresarán con olas de calor causantes de extensas sequías y frecuentes huracanes y vendavales cuando arrecie El Niño, o con lluvias violentas de mayor intensidad y promedios históricos más altos, desencadenando riadas, inundaciones y deslizamientos en las temporadas de La Niña.

No siendo despreciable el impacto de los fenómenos climáticos exacerbados para el medio urbano colombiano, para dimensionar su perjuicio en el medio rural, esta puede ser una cadena típica de eventos: al arreciar las lluvias, se incrementarán las tasas de erosión 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, valles que también resultarán inundados. Igualmente colapsará el transporte rural y con él la economía del campo, pues se reducirá la movilidad y conectividad de estas comunidades a causa de la destrucción de los escasos caminos de montaña, como por el anegamiento y destrucción de los carretables en las zonas llanas. Y con la mayor turbulencia de las aguas del mar a causa de la carga en suspensión aportada por los ríos e incrementada por la erosión costera dado el mayor ímpetu del oleaje, se reducirá la eficiencia de la fotosíntesis marina y por lo tanto el potencial de pesca, e incluso el de las cosechas de las tierras de cultivo fertilizadas con menos guano proveído por las bandadas que encontrarán menos peces.

* Profesor Universidad Nacional de Colombia [Ref: LA PATRIA, Manizales, 2010-07-19] *
Imagen Ecorregiones y Biomas de Colombia, en: <https://www.researchgate.net>

El Estado y la función social del suelo urbano

RESUMEN: En Manizales, a la problemática del suelo advertida en procesos que acentúan las inequidades, como la fragmentación y renovación urbana, la presión sobre la selva andina, y las zonas de riesgo de la periferia, se suman las dinámicas incontroladas de expansión de la frontera urbana por quienes controlan el modelo de ocupación territorial, para mantener la distribución inequitativa de cargas y beneficios y la separación de costos y utilidades, asociada a la actividad urbanizadora.



No parece viable un ordenamiento que propenda por la sustentabilidad del medio ambiente urbano, mientras persistan en Manizales las dinámicas incontroladas de expansión de la frontera urbana, la distribución inequitativa de cargas y beneficios, la separación de costos y utilidades obtenidos de la actividad urbanizadora, y una estratificación de Ley altamente inconveniente, inequitativa y anacrónica, mediante la cual se otorgan subsidios y cobran contribuciones en función de la morfología urbana de la vecindad y de las características de la vivienda, y no de la realidad socioeconómica del ciudadano.

Los planificadores, más allá de una perspectiva técnica opaca a los procesos socioeconómicos del hábitat, para el desarrollo de sus actividades deberían contar con elementos de política pública, que prevengan la especulación con el suelo urbano y garanticen la función social de la propiedad, en lugar de dejar las dinámicas urbanísticas a merced del mercado, olvidando asuntos vitales para decisiones que deberían redundar en el bienestar colectivo, en un modelo no conflictivo de ocupación del territorio, y en una propuesta de ciudad más verde y humanizada como lo propone el colectivo "Subámonos al bus del POT" desde la SMP de Manizales.

Uno de los fenómenos que caracterizan el subdesarrollo, es la segregación espacial y social urbana a la que se refiere Samuel Jaramillo González (2010) de la Universidad de

los Andes, definiéndola como “una característica no neutra de nuestras ciudades”, para la cual reclama una decisión política orientada a controlar las dinámicas espontáneas que produce el mercado asociadas a la especulación con el suelo urbano, y generar instrumentos de intervención del Estado útiles para prevenir ganancias no productivas ocasionadas por el cambio de uso del suelo, como la apropiación de la plusvalía urbana por el municipio, la promoción estatal planificada de vivienda y la aplicación de cuotas de vivienda social a los urbanizadores.

Aunque estén relacionados, “valor y precio” no son lo mismo: los bienes tienen un valor de uso que se asocia a la satisfacción que nos brindan, y al tiempo pueden o no poseer un valor de cambio, gracias al cual se intercambian con otras mercancías y se establece su precio en el mercado. Por ejemplo, el aire que tiene un considerable valor de uso, no tiene precio, como sí las mercancías que por ser bienes económicos que se venden, compran o intercambian. Desde Aristóteles, cuando alude a la reciprocidad y al talión, pasando por Adam Smith cuando se ocupa de las dinámicas del mercado y de la teoría de los precios, o por David Ricardo con sus ideas sobre la teoría de la renta de la tierra asociada a su productividad agrícola, hasta Marx con la teoría histórica y social del valor-trabajo, el pensamiento económico se ha ocupado del asunto para explicar precio y renta de la tierra.

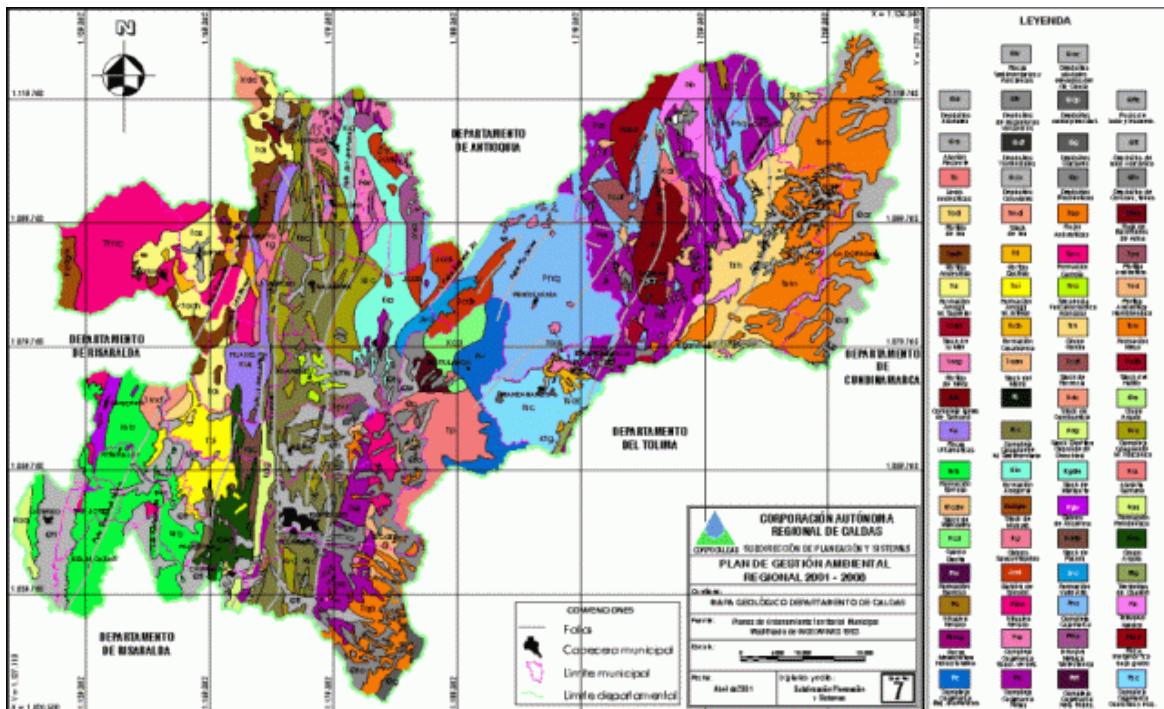
Si efectivamente el aire, aunque posee valor de uso, no posee precio toda vez que en él no se incorpora trabajo humano para su purificación y suministro, entonces al reflexionar sobre la naturaleza del precio de la tierra, dado que ella en sí no es un bien transformado, para el Profesor-Investigador Jaramillo, en el caso del suelo urbano la tierra tiene precio así no sea un valor en sí misma, gracias a la renta que genera en virtud del control que ejercen los dueños de los terrenos, sobre una condición suya indispensable para la producción y consumo del espacio construido, con lo cual los terratenientes se apropian de parte del valor producido socialmente por los agentes económicos que generan capital.

Finalmente, si en Colombia la deuda histórica con el campesinado parte de que el Estado no ha controlado el régimen de propiedad de la tierra, ni usado con eficiencia herramientas como el catastro, la extinción del dominio y la reforma agraria, en nuestra ciudad la problemática del suelo advertida en procesos que acentúan las inequidades, como la fragmentación y renovación urbana, la presión sobre la selva andina, las zonas de riesgo de la periferia, deberíamos aplicar correctivos al mercado inmobiliario, densificar la

retícula de la ciudad antigua, prevenir la propagación de los guetos urbanos y emplear a fondo instrumentos impopulares como el impuesto predial y la contribución de valorización, además de la recuperación de la plusvalía urbana ya aplicada en Pereira y no en Manizales.

[Ref.: La Patria, Manizales, 2014.09.1] Imagen, Piezas Intermedias de Planificación PIP, de Manizales. Secretaría de Planeación de Manizales.

Desarrollo minero-energético de Caldas



RESUMEN: Industrias químicas de base minera propuestas por Gabriel Poveda Ramos, destinadas a transformar la riqueza del subsuelo aprovechando el recurso minero relacionado con el oro de Marmato, las calizas de Victoria, y el manganeso de Apía, y haciendo uso del potencial multimodal en La Dorada y de nuestros recursos energéticos.

Ahora que Caldas retoma la senda perdida en el desarrollo hidroenergético con El Edén y Miel II, al declinar la bonanza del oro, carbón y petróleo para la Colombia minera, e iniciar el quinquenio de la infraestructura por las inversiones en curso para carreteras, líneas férreas, aeropuertos y la navegación del Magdalena, veamos las problemáticas y potencialidades de la ecorregión con los desafíos, grandes ventajas y tareas por resolver, para un desarrollo de industrias pesadas destinadas a transformar la riqueza del subsuelo, aprovechando el recurso minero relacionado con el oro de Marmato, las calizas de Victoria, y el manganeso de Apía, haciendo uso de la posición geoestratégica del territorio, del potencial multimodal en La Dorada y de nuestros recursos energéticos.

Para entrar en la materia, algo sobre los dos escenarios privilegiados de la ecorregión para implementar industrias químicas de base minera: por el poniente, el Corredor del Cauca entre La Virginia y La Felisa, cuenta con el carbón de la cuenca carbonífera de Antioquia que se extiende hasta Quinchía y Riosucio, pero depende para su viabilidad de un sistema férreo eficiente como medio de transporte y debe resolver su balance deficitario en agua. Y por el naciente, La Dorada, aunque el recurso hidroenergético e hídrico excedentario, y la hidrovía del Magdalena la favorecen, también requeriría del Ferrocarril Cafetero entre La Dorada y el Km 41 cruzando la cordillera, para resolver el suministro de materias primas al integrar la Región Andina, y encontrar la salida de productos transformados a la cuenca del Pacífico.

Como punto de partida, del trabajo del ilustre Maestro e Investigador Gabriel Poveda Ramos, "Propuesta de un Plan Minero- Industrial de Caldas 2006-2016", tomaré algunos elementos, donde al citar el "Inventario minero nacional" Ingeominas (2000), advierte sobre la carencia de estudios serios de cuantificación de reservas, y condiciona los proyectos a los costos del transporte y de la energía disponible.

Poveda Ramos rescata la existencia de filones de oro que califica de interesantes, en Manizales, Manzanares, Marmato, Riosucio y Supía, y agrega que de las jaguas de los beneficios y de las gangas de las explotaciones de estos y otros lugares, caso Pensilvania y Samaná, se podría obtener apreciables cantidades de sulfuros de zinc, de plomo, de hierro, de cobre, de antimonio y de arsénico, o zinc metálico y sus derivados. Añade que previamente habrá que cuantificar y caracterizar las cantidades de materias primas

existentes en las escombreras auríferas y que se generan en las minas, para asegurar suficiencia alimentando una planta de producción de zinc metálico y óxido de plomo.

Sobre el manganeso de Apía y Viterbo, el eminente Investigador también señala que en dicho Inventario no se mencionan estas minas, califica el yacimiento minero-metálico como el más importante de Caldas, y considera su eventual aprovechamiento de mucho interés para el Plan Minero-Industrial. Similarmente, anota que tal compilación del Ingeominas no precisa la existencia de arenas síliceas de alta pureza en cuarzo (SiO_2), existentes en Pueblo Rico y el Valle del Cauca, y posiblemente en el distrito minero Riosucio-Supía-Quinchía, las que podrían explotarse y complementarse con otras de Antioquia y Tolima para implementar industrias de transformación, garantizando un proyecto a 20 años para tres importantes productos: silicato de sodio, sílice-gel y carburo de silicio.

Adicionalmente y entre los principales prospectos para el Plan Minero de Caldas, el Doctor Gabriel Poveda considera los materiales calcáreos, al anunciar que parece inferirse una inmensa cadena de yacimientos de calizas en el oriente caldense, que parte desde el centro de Tolima y llega al nordeste de Antioquia, cuyos mayores prospectos requieren ser ubicados y aforados, al igual que los existentes en la otra vertiente de la cordillera entre Manizales y Aguadas. Al respecto recomienda un programa para inventariar los yacimientos de caliza y mármol de las dos franjas calcáreas que recorren a Caldas de sur a norte: la de La Victoria-La Dorada-Río La Miel, y la de Neira-Aranzazu-Salamina, aforando su calidad, dispersión y cantidad, para proveer de materias primas en un horizonte de 20 años como mínimo, 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.

* [Ref.: La Patria. Manizales, 2014.12.8] Imagen: Mapa Geológico de Caldas. Ingeominas.

Cerro Bravo, tras trescientos años de calma volcánica

RESUMEN: Aunque las erupciones del Ruiz y del Cerro Bravo tienen en común un carácter explosivo, sus coeficientes explosivos difieren: mientras las del Ruiz han

Aunque no existen registros históricos (anotaciones), los investigadores le han asignado a este estrato-volcán erupciones explosivas de características similares a las del Vesubio ocurrida en el año 79 de nuestra era y narrada por Plinio el joven- en la que se destruyen Pompeya y Herculano- cuyas fechas estimadas por radiocarbono con errores de entre 150 y 75 años, son de los años 1720, 1330, 1050 y 750. Las evidencias de estas erupciones violentas, que parecen sucederse cada cuatro siglos y de los cuales Cerro Bravo lleva unos tres en reposo, son varios de los estratos que conforman las capas de nuestros suelos sobre la geografía circundante de Cerro Bravo, dispersos sobre un radio que supera ampliamente las decenas de kilómetros medidos a partir del Cráter.

Aunque las erupciones del Ruiz y del Cerro Bravo tienen en común un carácter explosivo, mientras las del Ruiz han sido de nivel moderado bajo con presencia de columna eruptiva preferiblemente vertical sostenida (salvo la de 1845), las de Cerro Bravo ya mencionadas han mostrado un nivel moderado alto y con un mayor nivel de dispersión, lo que se explica por lavas más viscosas propiciando columnas eruptivas de colapso. En ambos casos, las manifestaciones violentas se acompañan de grandes volúmenes de gas volcánico y ceniza, con fragmentos de pómez cuya expulsión a gran velocidad y temperatura forma las citadas columnas eruptivas, de las cuales pueden surgir riadas gaso-piroclásticas a alta temperatura, acompañadas de tormentas eléctricas y de lluvias torrenciales generadoras de flujos de lodo, así Cerro Bravo no tenga glaciares.

La imagen que ilustra esta nota es el mapa con una de las amenazas potenciales de Cerro Bravo, el de las nubes ardientes, juiciosamente elaborado por los científicos del Observatorio Vulcanológico de Manizales adscrito al Ingeominas, entidad que también ha establecido centros similares para la vigilancia de los segmentos volcánicos vecinos al Huila y al Galeras, donde igualmente existen varios sistemas activos y comunidades vulnerables habitando sus territorios, que por estar en riesgo deben aplicar la información de dichos mapas en el ordenamiento territorial, y la del monitoreo volcánico en la administración de las eventuales crisis eruptivas, dado que ambas actividades las viene abordando esta prestigiosa Institución, así la mayoría de los volcanes estén en reposo temporal, como ocurre con Cerro Bravo. Solo que dado el período típico y la incertidumbre en su estimación, habrá que tomar en serio esta amenaza.

De conformidad con el mapa y la información suministrada para el mismo, entre las amenazas volcánicas de Cerro Bravo, habrá que contemplar, además de caída de ceniza volcánica, flujos de lodo por los ríos Aguacatal afluente del Gualí y por el río Perrillo afluente del Guarinó, llegando con pocos metros de espesor hasta el Magdalena; además de los flujos piroclásticos que podrían superar los 10 kilómetros de extensión avanzando por dichos drenajes e incluso por las cabeceras del Río Blanco y del Guacaica, vecinos a Manizales de conformidad con el mapa anexo, consecuencia ello de una erupción importante en volumen dado que la columna eruptiva de dicho volcán, por su mayor coeficiente explosivo en comparación con el Ruiz y el Tolima, tiende al colapso como también lo haría una erupción del Cerro Machín vecino a Cajamarca. Para información del lector, mientras Herveo está localizado a 14,2 km, el centro de Manizales se encuentra ubicado a 25 km y la Enea a 20 km, de Cerro Bravo.

[Revista Eje 21. Manizales, 215-05-24] Imagen: Amenazas por Flujos Piroclásticos. CRET del Tolima. Alberto Núñez T. Fuente, Mapa de Amenazas de Cerro Bravo, Ingeominas (1999).

RELACIONADOS:

Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: 1er Congreso Internacional de Desempeño Humano en Altura, Noviembre 19 de 2009, Manizales.

Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz - Tolima. Duque Escobar, Gonzalo (2013) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]

El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Curso de Contexto CTS, Noviembre 11 de 2015, Auditorio Juan Hurtado.

El fantasma de la imprevisión



Si queremos desarrollo, habrá que priorizar la formación de capital social y humano sobre el crecimiento económico; si queremos bienestar, habrá que optar por la solidaridad y priorizar a los más vulnerables: en Colombia se habla de paz, pero esta no resulta viable mientras el Estado esté ausente, olvidando su responsabilidad sobre los temas fundamentales de la compleja problemática socioambiental de las regiones.

Con el calentamiento global, ciudades como la nuestra están obligadas a implementar procesos de adaptación ambiental, para enfrentar la amenaza por eventos climáticos extremos propios del medio tropical andino, mediante procesos integrales, con enfoque humano y visión de futuro. El POT será una herramienta útil que no puede desaprovecharse, tal cual lo hemos hecho en la ciudad en los años precedentes, tras los sucesos vividos en la Quebrada Manizales en abril de 2011.

En la tarde del pasado martes, una lluvia descomunal y local, ha desnudado en el sector de Maltería nuestra imprevisión con la Comuna Tesorito, donde habitan cerca de 22 mil personas sin incluir la población flotante, usuaria de la principal zona industrial de la ciudad y demás escenarios donde hacen presencia emblemáticas instituciones y empresas, que explican el 70% del PIB de la ciudad o cerca de la mitad del PIB de Caldas.

Cuatro años atrás, una avenida torrencial que en magnitud superó en varios órdenes las riadas que ahora abatieron el sector, puso en evidencia dos problemáticas estructurales del representativo territorio: 1- los conflictos entre uso y aptitud del suelo, tanto en las cabeceras de la quebrada Manizales como de sus afluentes, entre estos la Cimitarra que surte el acueducto de Maltería; y 2- la ocupación indebida de las vaguadas de dicho drenaje, donde los causes aparecen invadidos por decenas de viviendas y otras instalaciones, en sectores de la propia Maltería, Bajo Juanchito y Verdum.

Pero al igual que en la crisis del 2011, a pesar de que la prensa se ha ocupado del asunto, de que la Administración municipal ha estado presente, y de que el conglomerado de instituciones del Comité Local de Emergencias ha extendido su brazo solidario, los problemas estructurales relacionados con la problemática siguen sin resolverse por la vía de la planificación, a pesar del invaluable esfuerzo de la Junta de Acción Comunal, y sobre todo de la comunidad que con desasosiego y sorpresa continúa en riesgo, gracias a nuestra inconciencia social para reclamar las acciones adecuadas frente a las reales contradicciones ambientales, puesto que no de otra manera se puede explicar la imprevisión y falta de compromiso para atender estas demandas necesarias y de largo plazo.

Como evidencia, éste testimonio de José Humberto Duque Corrales, Presidente de la Junta de Acción Comunal de Maltería: "en los últimos años no se han dado soluciones en compra de predios, ni intervenido el uso del suelo en la cabecera de la cuenca... y cuatro años después de la avalancha sigue todo igual: se recomendaron obras de bioingeniería, y no se hicieron; tampoco se ha dado respuesta en materia de vivienda a las familias damnificadas por la avalancha del 2011".

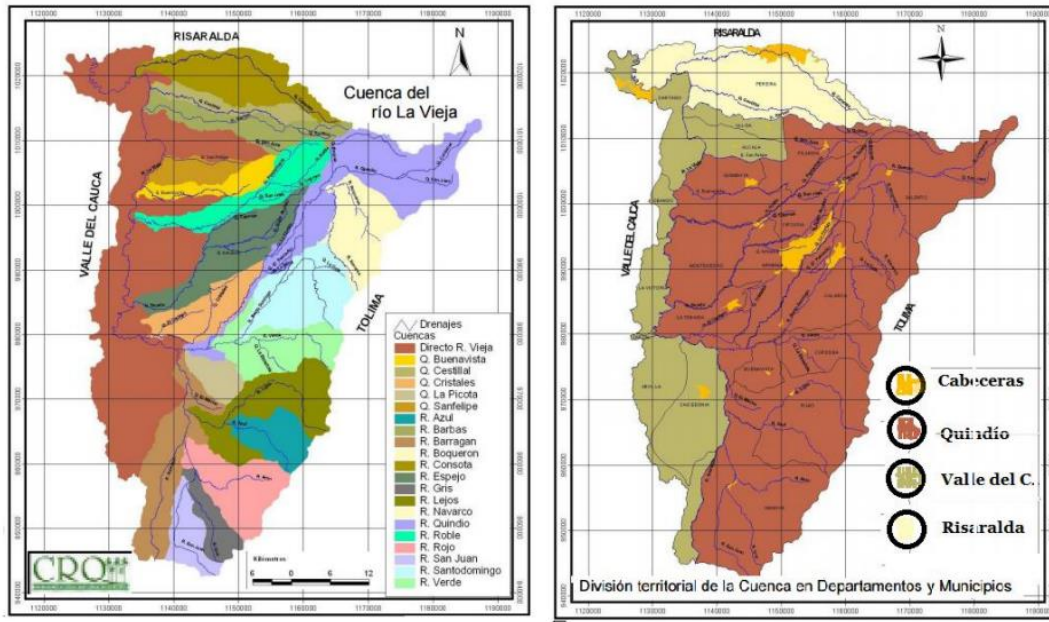
La Junta de Acción Comunal interesada en la apropiación de los procesos de cambio que demanda el territorio, ha mantenido iniciativas ambientales que, con el apoyo de Ecopetrol, la Corporación Aldea Global y Corpocaldas, se han traducido en acciones necesarias pero insuficientes, como la gestión de un diplomado sobre "Medio ambiente, ordenamiento y gestión del riesgo" (2012) y la formulación del "Plan de Manejo Ambiental para la Cuenca de la Quebrada Cimitarra" (2014), documento entregado por la comunidad a Corpocaldas.

Si deseamos un territorio amable y seguro, habitado en forma digna; si soñamos en hacer de Manizales "la ciudad del agua", deberíamos empezar por recuperar la microcuenca más emblemática del territorio, apuntándole a un desarrollo sustentable de la quebrada Manizales. Muchos son los esfuerzos que se hacen en la gran cuenca del río Chinchiná, un escenario que incluye tres cuencas menores: la del Guacaica, la del Río Claro y la del Chinchiná. La de la quebrada Manizales, aunque solo es un elemento de tercer orden, es un espacio estratégico y altamente vulnerable, que reclama una política pública específica con acciones estructurales y concretas, en temas rurales y urbanos.

[Ref. La Patria. Manizales, 2015.04.13] Imagen: Q. Manizales afectada por la Cimitarra, en Video de La Patria.

Consideraciones sobre la reconstrucción del Sur del Quindío

RESUMEN: Por el terremoto del 25 de enero pasado, el Quindío pierde dos décadas de trabajo en sólo 20 segundos: un anciano ve arruinado su taxi y único sustento porque le ha quedado atrapado bajo los escombros del edificio donde estaba su apartamento; otra mujer de edad no seguirá recibiendo el arriendo de una casa que le quedó de su difunto esposo, porque se le ha derrumbado a causa de las sacudidas. Para comprender el nivel de los perjuicios del sismo no basta analizar el tiempo pasado requerido por los damnificados para haber acumulado esos haberes perdidos, pues se hace necesario examinar las grietas sobre la cultura y el medio ecosistémico, puestas en evidencia por el desastre.



A dos meses del terremoto que asoló el Quindío la fase de emergencia apenas parece haber concluido y la de reconstrucción inicia por lo que los conceptos sobre lo que supone este proceso no pueden quedar escindidos: se debe hablar de reconstrucción física y de reconstrucción del tejido social, como categorías que se complementan y que no admiten manejos separados por actores a distancia.

Empecemos por definir el terremoto como un fenómeno social en el cual surgen grietas ambientales, culturales, políticas y económicas. La reconstrucción supone un proceso de recomposición del tejido social a partir de la recuperación del hábitat con el objeto de

llenar las "grietas" puestas en evidencia por el sismo sobre su realidad social, cultural, política y económica. De surgir las casas prefabricadas de la noche a la mañana por la acción eficaz de una urbanizadora no se garantiza el proceso para que la comunidad levante los "ladrillos" que expresan sus conflictos y contradicciones ambientales.

El caso que nos ocupa es el de los municipios del sur del Quindío donde la intensidad del sismo del 25 de enero es significativa, pues se trata del epicentro de una región marginada de los beneficios propios de un polo de desarrollo, como lo es el área metropolitana del Quindío.

Los municipios del sur del Quindío -Buenavista, Córdoba, Génova y Pijao-, con la coordinación de la Universidad del Quindío y la colaboración de otras instituciones locales, del Quindío, de Caldas, el CINEP y la Universidad Nacional, vienen pensando en fortalecer sus vínculos para desarrollar proyectos estratégicos comunes e integrales, como el desarrollo de la cuenca del río Barragán, mediante el manejo ambiental de las subcuencas del río Verde y el río Lejos.

En un diagnóstico rápido, se puede advertir que la población del Eje Cafetero y también la del sur del Quindío vive fundamentalmente del café. Además que los ingresos de la región soportados en el "grano" son destinados fundamentalmente a la compra de energía, alimentos y vestuario. De esto se deriva la necesidad de diversificar su economía y buscar el ahorro mediante programas de seguridad agroalimentaria y energética. El turismo ha sido una opción del Quindío de cara a la actual crisis del sector cafetero.

Para el sur del Quindío, las principales opciones del sector agropecuario parecen ser las siguientes:

Como primera opción, el café, complementado con productos de pan coger y caña panelera. Como segunda opción la actividad forestal complementada con ecoturismo. Como tercera opción, el desarrollo agroindustrial de la región de Barragán. Si el café sigue siendo la primera opción agropecuaria del departamento, potenciar la cultura del café con el desarrollo de la investigación para avanzar hacia la agricultura orgánica, se hace hoy necesario.

El desarrollo forestal para garantizar el agua como fuente de vida, supone bosques protectores-productores en las cuencas de estos municipios de cordillera. Esta segunda actividad puede contemplar la siembra de especies arbóreas como Urapanes, Cedros, Nogales, Caobas y Guayacanes, además del Nim especie medicinal de la India y otras plantas aromáticas como Cidronela, Vainilla, Limoncillo, además de pastos como el Ramio, la Alfalfa y el Kutzú. La industria apícola, de peces ornamentales, y de humus, entrarían al sistema.

El tercer punto de la agenda necesita de un Centro de Desarrollo Agroindustrial en la zona de Barragán, el que comprende un Instituto Tecnológico apoyado por la Universidad del Quindío y por centros de investigación a nivel internacional. Este proyecto desarrollado sobre una extensión de mil hectáreas propiedad de empresas asociativas, que cultivan frutas y otras especies tropicales de ambiente cálido, produciendo abonos orgánicos y ácidos húmicos, funcionaría con pequeñas unidades de producción agropecuaria enfocadas dentro de la tecnología ZERI, apunta al mercado exterior y nacional y puede generar alternativas para los jóvenes que hoy no encuentran oportunidad local.

El plan de seguridad energética sugiere la construcción de pequeñas plantas energéticas en los ríos señalados, generando en total 10 mil KW, cantidad suficiente para 20 mil habitantes; el programa debe complementarse con la proliferación de bosquecillos comunitarios que provean de leña a los campesinos y que en un plano de mayor desarrollo admitan la complementación de productos alimentarios y maderas como la guadua y el arboloco para la construcción en bahareque, recurso que da la tierra para viviendas sismo resistentes y potencia el paisaje ecológico para invitar a la actividad turística.

Un circuito turístico con cinco nodos enlazaría los intereses de la subregión a los del Quindío. Estos nodos estarían constituidos por el Centro de Desarrollo Agroindustrial de Barragán, el actual Centro del Bambú en Córdoba -potenciado con un desarrollo industrial de la guadua hacia el fibrocemento y los aglomerados-, el desarrollo ambiental y paisajístico del río Barragán en la ruta turística a Génova, un mirador turístico y centro de información regional en Buenavista -equipado de una emisora comunitaria con propósitos culturales- y el Centro Pedagógico de Reconstrucción Social Tarapacá en Pijao pensado

para leer en vivo la evolución del perfil ambiental de este municipio salvado así de sus amenazas ambientales.

Vistos en conjunto estos proyectos es fácil advertir la necesidad de incorporar ciertas prácticas y acciones en los escenarios urbanos y rurales para avanzar en la construcción de un bioespacio, el de los municipios del sur del Quindío. La simbiosis del artesano con el intelectual, resulta tan necesaria como el tratamiento de aguas servidas y residuos sólidos el avance hacia las granjas integrales.

--

Pijao, Quindío, Marzo de 1999. Documento CINEP-U.N. Imagen: Quindío: cuencas y sectorización territorial. CRQ.

El modelo de ocupación urbano – territorial de Manizales



RESUMEN: *Urge un nuevo modelo de desarrollo urbano y de ocupación del territorio para Manizales; primero, para corregir un uso conflictivo del suelo y expansionista del territorio, que al favorecer la especulación con la plusvalía urbana y concentrar la inversión en infraestructura social y productiva, además del deterioro ambiental causa la fragmentación espacial y social de la ciudad; y segundo, porque a la luz de la planificación moderna, pensado en ciudades innovadoras y competitivas, no se contempla a fondo la integración urbana para generar sinergias territoriales y complementar la economía en el marco de la Ciudad Región, como estrategia para prevenir el ocaso de estas ciudades intermedias del Eje Cafetero, fruto de la creciente competencia metropolitana sobre el Eje Cali – Medellín.*

En el marco de los objetivos socioambientales y económicos de un desarrollo urbano sostenible, Manizales debe tomar en consideración los elementos naturales y paisajísticos del territorio, y la estructura vial y de servicios públicos determinando el perímetro urbano y las áreas de expansión de la ciudad, sin exceder el alcance de aquellos. Pero el reto del Ordenamiento del Territorio es lograr la coherencia de la plataforma físico –espacial, al integrar las políticas sectoriales en los distintos niveles territoriales entre sí, con un desarrollo equilibrado que consulte el interés general.

El POT elaborado por la autoridad municipal de Manizales, como una ciudad intermedia con 394 mil habitantes de los cuales 28 mil son rurales, además de sus tres componentes básicos: el general, el urbano y el rural, de las áreas de reserva y protección ambiental, de conservación de los recursos naturales, y de defensa del paisaje y del patrimonio histórico, cultural y arquitectónico de la ciudad, debió incluir los objetivos y estrategias territoriales de largo y mediano plazo y el contenido estructural, no sólo del sistemas de comunicación entre el área urbana y rural, sino también para la conectividad regional.

Para garantizar su sustentabilidad, el modelo de ocupación de Manizales, debe apuntale a dos objetivos: en lo interno, a fortalecer las políticas de redensificación y renovación urbana, previniendo los procesos de expulsión de los habitantes más pobres hacia la periferia, haciendo menos viable el transporte público colectivo; y en lo externo, a la conurbación del territorio empezando por su área metropolitana para luego conformar la ciudad región con Pereira, buscando generar sinergias territoriales y económicas en lugar de competir entre sí para no palidecer frente a las crecientes dinámicas metropolitanas de Cali y Medellín.

Respecto a la expansión de la ciudad, el crecimiento de la zona urbana avanzando sobre Villamaría, La Aurora, La Linda y Monte León, con tasas que superan el crecimiento demográfico, permiten advertir no sólo que Manizales se ha expandido más allá de sus necesidades, sino también que se está incorporando suelo de transición para facilitar unas dinámicas territoriales en favor de un mercado que especula con la plusvalía urbana, al promover asentamientos que demandan grandes inversiones públicas en nueva infraestructura para la conectividad motorizada y de servicios básicos para los nuevos asentamientos, destruyendo así la posibilidad de construir un medio ambiente urbano más humano, más amable y más verde.

Lo anterior, dado que el modelo de ocupación del territorio ha favorecido la proliferación de guetos urbanos en la periferia de la ciudad, a costa del desarrollo ambiental económico y social de Manizales, unos constituidos por unidades residenciales cerradas para la clase pudiente, en los que se aísla y protege, y otros en zonas periurbanas potencialmente inestables, donde la pobreza e inequidad en materia de infraestructura y acceso a servicios sociales y culturales, deterioran y degradan las condiciones de vida y alimentan los factores que perturban la seguridad en el sistema urbano.

No podemos persistir en el actual modelo de ciudad insolidaria, excluyente y sin opciones de vida para los pobres, que debilita el papel del Estado al limitar la movilidad urbana y el acceso a los servicios de la ciudad, modelo en el que a la fragmentación espacial y social que privilegia el asistencialismo y clientelismo, concentra la inversión en infraestructura social y productiva, incrementa las tensiones, rompe el tejido social, pauperiza el medio urbano y ubica a los menos favorecidos entre las fronteras de la ilegalidad y la delincuencia.

Y en cuanto a la conurbación con Pereira, si la primera acción consiste en articular las áreas metropolitanas de ambas capitales cafeteras, el paso previo necesario para la trascendental decisión en materia de planificación, consiste en estructurar la subregión Centro-Sur, abordando temas estratégicos para sus comarcas y las formas de organización posibles. Los temas sustantivos para resolver dicha integración, son el agua, las cuencas, la movilidad, los servicios públicos, la inversión en infraestructura social y productiva, y la vocación de los entes territoriales, la gestión integral del riesgo y el manejo responsable del medio ambiente.

Dado lo anterior, para conformar la ciudad región, conforme las dinámicas del territorio han conurbado el territorio, un tema vital para el POT a la luz de la planificación moderna, pensado en ciudades innovadoras y competitivas, debe ser el fortalecimiento de la relación entre movilidad y economía, implementando un sistema integrado de transporte entre las áreas metropolitanas de ambas ciudades y creando acuerdos económicos, para consolidar un mercado de un millón de habitantes, 51% pertenecientes al área metropolitana de Pereira y 39% al de Manizales.

Para la ciudad región juegan a favor la variante Tesalia que desviará el tráfico pesado por el lado de San José de Risaralda, la presencia de poblados intermedios como Chinchiná, Santa Rosa de Cabal, Marsella y Palestina, y dos aeropuertos que se complementan: Aerocafé con posibilidades de vuelos interoceánicos para acceder al Asia, Europa y Oceanía haciendo viable el Paisaje Cultural Cafetero, y Matecaña con una alta frecuencia de vuelos diurnos y nocturnos que no tiene Manizales.

Mientras la urgencia de las megalópolis es volverse internacionalmente competitivas y manejar problemas de escala, y la de los poblados menores articularse a un centro urbano de mayor nivel de importancia desarrollando una competencia específica, la de las ciudades intermedias como Pereira y Manizales debe ser conurbarse para conformar una ciudad región integrando sus economías. Dicha integración obliga para dos ciudades intermedias del mismo tamaño como estas, a esa clase de decisiones en lugar de competir, para no palidecer al estar ubicadas a menos de una hora de distancia entre sí, y posteriormente a menos de tres de Cali y de Medellín.

Manizales, 12 de Agosto de 2015. Imagen: Manizales 1916. L.J. Giraldo y J.A. Cardona. Escuela de arquitectura U. N. de Colombia, en: <https://godues.wordpress.com/2013/10/10/>

Ponencia presentada a nombre de la SMP-UN al colectivo de Alianza Verde de Caldas, en el Recinto del Honorable Concejo de Manizales el día 12 de agosto de 2015.

RELACIONADO:

Plusvalía urbana para viabilizar el POT de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: Foro-Debate: "Cargas y Beneficios en el POT", Martes 6 de Septiembre de 2016, Recinto del Honorable Concejo Municipal de Manizales.

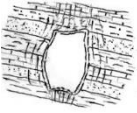
LOS AUTORES:

	<p>Carlos Enrique Escobar Potes: http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000068284</p> <p>Gonzalo Duque Escobar: https://godues.wordpress.com/2012/09/12/gonzalo-duque-escobar-cvlac-rg/</p>
---	--

TEXTOS U.N.



Geomecánica. 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 (2017). 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)



Textos "verdes". Recopilación temática de documentos U.N., con autoría y coautoría de Gonzalo Duque Escobar.

...

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA</p>
	<p>Geotecnia para el trópico andino http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/</p>
	<p><u>Carlos Enrique Escobar Potes</u> <u>Gonzalo Duque Escobar</u></p>
	<p>Manizales, 2017.</p>
	<p>A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.</p>