

CAPITULO H.6 SUELOS CON CARACTERISTICAS ESPECIALES

H.6.0 - NOMENCLATURA

c_w	=	coeficiente de hidroconsolidación
$d\varepsilon_w$	=	derivada del potencial de hidrocólapsos
G_s	=	gravedad específica del suelo
H_i	=	espesor de la capa i del suelo potencialmente colapsable
LL	=	límite líquido en porcentaje
S	=	grado de saturación
S_o	=	grado de saturación inicial
P_{ex}	=	presión de expansión probable en el campo (kgf/cm^2)
w_L	=	límite líquido en fracción decimal
z	=	profundidad
ε_w	=	deformación potencial de hidrocólapsos
α	=	saturación relativa, o grado de humedecimiento
δ_w	=	asentamiento por hidroconsolidación
γ_d	=	peso unitario seco (g/cm^3)
$\gamma_{d\text{crit}}$	=	peso unitario crítico como identificación de la colapsabilidad
σ	=	esfuerzo normal al cual tiene lugar la hidroconsolidación
σ_c	=	umbral de esfuerzo de colapso
σ_v	=	esfuerzo vertical total
ω_{eq}	=	humedad de equilibrio en porcentaje
ω_N	=	humedad natural en fracción decimal

H.6.1 - SUELOS EXPANSIVOS

H.6.1.1 - GENERALIDADES - Se identifican como suelos expansivos, propiamente dichos, aquellos que tienen entre sus componentes minerales como caolinitas, ilitas y montmorilonitas; tales suelos arcillosos tienen la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo.

H.6.1.1.1 - Calificación de la expansividad - Todas las arcillas tienen, de una forma u otra, algún potencial de expansión en el sentido de que ganan o pierden agua según las condiciones ambientales.

H.6.1.1.2 - Minerales activos - Como minerales activos se reconocen la montmorilonita, la vermiculita y algunas variedades de haloisita; la particularidad de éstos radica en que tienen la propiedad de "adsorber" moléculas de agua dentro de su propia estructura molecular

H.6.1.2 - PROFUNDIDAD DE LA ZONA ACTIVA - Se identifica la zona activa, en relación con los suelos expansivos, como la máxima profundidad a la que se observan fluctuaciones estacionales de humedad. La zona activa y su extensión se presentan esquemáticamente en la figura H.6-1.

H.6.1.2.1 - Nivel Freático - La expansividad cesa bajo la posición del nivel freático pero puede verse afectada por las oscilaciones de éste, de acuerdo con los factores climáticos.

H.6.1.3 - IDENTIFICACION DE LOS SUELOS EXPANSIVOS - En la tabla H.6-1 se reproducen los criterios más aceptados para el reconocimiento de los suelos expansivos basados en altos valores del límite líquido, del índice de plasticidad, contenido de partículas coloidales y bajos valores del límite de contracción. Estos criterios deben verificarse en el laboratorio mediante ensayos de las propiedades índices correspondientes y de expansión en el consolidómetro.

Tabla H.6-1
Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm ²	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre LL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 – 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 – 20	39 – 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 – 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

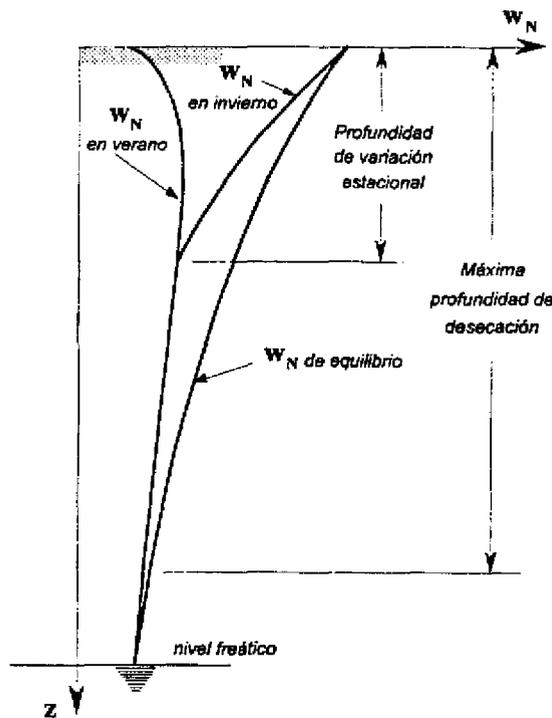


Figura H.6-1 – Profundidad de la zona activa y variaciones estacionales de la humedad

H.6.1.4 - HUMEDAD DE EQUILIBRIO - Se ha definido la humedad de equilibrio como aquella que corresponde a la aidez natural del suelo por el agua; si la humedad natural es inferior, el suelo buscará satisfacerla, proceso en el cual tiene lugar la expansión. Puede calcularse como:

$$w_{eq} = 0.47 LL + 3.6 \quad (H.6-1)$$

H.6.1.5 - PRESION DE EXPANSION PROBABLE - Puede estimarse la presión de expansión probable en campo como:

$$\log P_{ex} = -1.868 + 2.08 w_L + 0.665 \gamma_d - 2.69 w_N \quad (H.6-2)$$

H.6.1.5.1 - Otros Métodos - Las formas de aproximarse al tema de los suelos expansivos citadas en este Reglamento no son excluyentes, ni pretenden reemplazar otros métodos presentes o futuros; su uso a plena conciencia es respetado y alentado y está cubierto dentro de la responsabilidad propia del ejercicio de la ingeniería geotécnica.

H.6.1.6 - MEDIDAS PREVENTIVAS - Las siguientes acciones preventivas son útiles:

- (a) *Drenaje de las aguas de escorrentía* - Debe proveerse un adecuado drenaje alrededor de las estructuras por medio de pendientes perimetrales (2-10%), cunetas revestidas, áreas pavimentadas y canalizaciones de las aguas lluvias.
- (b) *Alcantarillados y rellenos* - Los alcantarillados en suelos expansivos, deben ser estancos; así mismo los rellenos deben hacerse con materiales inertes y compactados según la especificación compatible.
- (c) *Paisajismo e irrigación* - Separar convenientemente las actividades de paisajismo, relacionadas con irrigación de plantas y jardines, de las estructuras adyacentes.

H.6.1.7 - ALTERACION DEL SUELO EXPANSIVO - Puede lograrse por cualquiera de los siguientes métodos:

- (a) *Reemplazo* - Consiste en la excavación y el reemplazo de la capa expansiva, cuando su espesor y profundidad no lo hacen prohibitivamente costoso.
- (b) *Tratamiento con cal* - La mezcla superficial de cal con el suelo potencialmente expansivo o su inyección a presión es benéfica, según el estado del suelo (agrietado o no) y el método de aplicación (inyección a presión o mezcla mecánica).
- (c) *Prehumedecimiento* - El prehumedecimiento supone la expansión previa a la colocación de la estructura y el mantenimiento de esa humedad bajo una placa o un recubrimiento impermeable.
- (d) *Barreras de humedad* - Colocadas perimetralmente a la estructura pueden coadyuvar al equilibrio; debe evitarse sin embargo, que se establezcan canales de humedecimiento como fenómenos termo-osmóticos que hagan inútil la precaución.

H.6.1.8 - ELUSION DE LOS SUELOS EXPANSIVOS - Se puede intentar este objetivo por los siguientes procedimientos:

- (a) *Profundizar los cimientos* - Hasta pasar, al menos parcialmente, la profundidad de la zona crítica donde la expansión es más severa.
- (b) *Pilotes preexcavados* - A la profundidad necesaria para desarrollar la carga; puede completarse con el aislamiento del fuste del pilote en la zona activa.
- (c) *Placas aéreas* - Para evitar el contacto de los pisos con el suelo potencialmente expansivo.

H.6.1.9 - MITIGACION DE TIPO ESTRUCTURAL - Este tipo de solución se logra por los siguientes caminos mutuamente excluyentes:

- (a) *Cimentación rígida* - Rigidización de los elementos de la cimentación de manera que la estructura se mueva como un todo. Está acompañada a menudo de concentración de la carga en ciertos puntos y liberación en otros, para permitir el alivio de las presiones de expansión bajo losas huecas, tipo artesonado. La estructura debe diseñarse en consecuencia.
- (b) *Construcción flexible* - Que permita el movimiento sin daño de ciertos elementos de la estructura. Los elementos no estructurales deben estar concebidos para acomodarse a estos ajustes.

H.6.2 - SUELOS DISPERSIVOS O ERODABLES

H.6.2.1 - GENERALIDADES - Se identifican como suelos erodables, las arenas muy finas o los limos no cohesivos que exhiben una manifiesta vulnerabilidad ante la presencia de agua.

H.6.2.2 - TIPOS DE SUELOS ERODABLES - Se distinguen dos tipos de suelos muy sensibles a la presencia de agua; éstos son:

- (a) *Suelos dispersivos* - Arcillas cuya concentración de sales de sodio (Na) en el agua intersticial pasa de 40% o 60% del total de sales disueltas.
- (b) *Suelos erodables* - Arenas finas, polvo de roca, limos no cohesivos y depósitos eólicos, propios de ambientes aluviales tranquilos y constantes que resultan en una granulometría relativamente homogénea.

H.6.2.3 - CARACTERISTICAS DE SU COMPORTAMIENTO - Los suelos dispersivos entran de manera espontánea en solución en presencia de agua, primero como una nube de materia en suspensión, y luego como una extensión generalizada del fenómeno. Los suelos erodables, en cambio, no se disuelven pero sí son afectados por corrientes de

agua de menor caudal, inclusive a bajos niveles del gradiente hidráulico, formando cárcavamientos, tubificación y erosión retrogresiva o remontante

H.6.2.4 - MEDIDAS PREVENTIVAS - Las principales medidas preventivas cuyo análisis debe llevarse a cabo son.

- (a) *Remoción del suelo erosionable* - Cuando la operación es económicamente factible, y cuando se ha identificado con antelación la extensión y profundidad de la zona vulnerable.
- (b) *Restricción severa del humedecimiento* - Por medio de una combinación de drenajes, sub-drenajes, pavimentos impermeables y reglamentación del uso de agua.
- (c) *Recubrimiento impermeable* - Terraplén debidamente gradado, colocado sobre una capa doble de geotextil impermeable, debajo, y geotextil no tejido encima.
- (d) *Recubrimiento vegetativo* - Aplicable en las laderas de poca pendiente (< 20%), consiste en sembrar especies vegetales sobre geomalla, diseñada para el efecto, con restricciones laterales en maderas o cañas colocadas paralelamente a la curva de nivel, para evitar el transporte longitudinal del material a lo largo del plano de la pendiente.

H.6.2.5 - PRECAUCION - No deben utilizarse por ningún motivo materiales identificados como dispersivos o erodables, como materia prima para rellenos o terraplenes. Tampoco se deben utilizar materiales sospechosos de serlo.

H.6.3 - SUELOS COLAPSABLES

H.6.3.1 - GENERALIDADES - Se identifican como suelos colapsables aquellos depósitos formados por arenas y limos, en algunos casos cementados por arcillas y sales (carbonato de calcio), que si bien resisten cargas considerables en su estado seco, sufren pérdidas de su conformación estructural, acompañadas de severas reducciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan

H.6.3.2 - TIPOS DE SUELOS COLAPSABLES - Se distinguen cuatro tipos principales de suelos colapsables, a saber:

- (a) *Suelos aluviales y coluviales* - Depositados en ambientes semi-desérticos por flujos más o menos torrenciales, tienen con frecuencia una estructura inestable (suelos metastables).
- (b) *Suelos eólicos* - Depositados por el viento, son arenas y limos arenosos con escaso cemento arcilloso en una estructura suelta o inestable. Reciben el nombre genérico de "loess" en las zonas templadas
- (c) *Cenizas volcánicas* - Provenientes de cenizas arrojadas al aire por eventos recientes de actividad volcánica explosiva, conforman planicies de suelos limosos y limo-arcillosos con manifiesto carácter metastable.
- (d) *Suelos residuales* - Derivados de la descomposición in-situ de minerales de ciertas rocas, son luego lixiviados por el agua y pierden su cemento y su sustento por lo cual también terminan con una estructura inestable

H.6.3.3 - IDENTIFICACION DE COLAPSABILIDAD - Se identifica la colapsabilidad de estos depósitos, cuando el volumen de vacíos iguala la cantidad de agua en el punto del límite líquido. Para mayor cantidad de agua o menor volumen de vacíos el depósito es inestable. La evaluación se debe hacer mediante la siguiente formulación:

$$\gamma_{\text{dcrít}} = \frac{1}{(1/G_s) + w_L} \quad (\text{H.6-3})$$

H.6.3.3.1 - Criterio de evaluación- De esta manera, puede decirse que si:

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_{\text{dcrít}}} > 1 \text{ el suelo es estable o expansivo, y si}$$

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_{\text{dcrít}}} \leq 1 \text{ el suelo es colapsable}$$

H.6.3.4 - CLASIFICACION DE GRADO DE COLAPSIBILIDAD - Se define la deformación del hidrocólapso potencial como dependiente del coeficiente de hidroconsolidación y de la relación de esfuerzos entre el presente y el umbral de colapso, así:

$$\epsilon_w = c_w (\log \sigma - \log \sigma_t) = c_w \log \left(\frac{\sigma}{\sigma_t} \right) \quad (\text{H.6-4})$$

donde:

$$c_w = \frac{d\epsilon_w}{d(\log \sigma)} \quad (\text{H.6-5})$$

De acuerdo con la anterior definición de términos, las clasificación se presenta en la tabla H.6-2.

Tabla H.6-2
Clasificación de colapsibilidad

Deformación potencial de hidrocólapso, ϵ_w	Clasificación de severidad
0 – 0.01	sin problema
0.01 – 0.05	moderada
0.05 – 0.10	problema potencial
0.10 – 0.20	severa
> 0.20	muy severa

H.6.3.5 - CALCULO DE ASENTAMIENTOS - El cálculo de asentamientos por colapso de los suelos puede hacerse por medio de la siguiente formulación:

$$\delta_w = \sum \alpha c_w H_i \log \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_t} \right) \quad (\text{H.6-6})$$

donde $\alpha = \frac{S - S_o}{1 - S_o}$ equivale a una saturación relativa o a un coeficiente de humedecimiento.

H.6.3.5.1 - Nótese que es éste un análisis por esfuerzos totales. Además, este asentamiento difiere del elástico o del de consolidación definidos en otros apartes de este Reglamento.

H.6.3.6 - MEDIDAS PREVENTIVAS - Las principales medidas preventivas se enuncian enseguida:

- (a) *Remoción del suelo colapsable* - Cuando su profundidad y espesor lo hacen factible.
- (b) *Restricción o minimización del humedecimiento* - Por medio de drenaje, pavimentos impermeables y reglamentación del uso del agua.
- (c) *Transferencia de las cargas a suelos inertes* - Mediante cimentaciones profundas o semiprofundas, cuando la profundidad de estos suelos inertes es razonable. Debe tenerse en cuenta sobre los pilotes la posible fricción negativa originada en el fenómeno del colapso.
- (d) *Estabilización por inyección de agentes químicos* - Puede aplicarse localmente o en reparación de estructuras dañadas. Su costo lo hace prohibitivo en grandes extensiones.
- (e) *Prehumedecimiento* - Se recomienda el procedimiento en combinación con algún tipo de sobrecarga de manera que se logre el colapso anticipado del material defectuoso; es importante verificar el destino del agua agregada, porque es factible que a causa de la estratificación natural, su flujo se efectúe más horizontalmente que en forma vertical y no se logre el efecto esperado.
- (f) *Compactación* - Puede lograrse con cilindros o compactadores vibratorias convencionales, en combinación con humedecimiento moderado. También debe considerarse la factibilidad de instalar pilotes de desplazamiento por hincado, o pilotes de grava, hasta la profundidad requerida para pasar la capa potencialmente problemática. En algunos casos, a prudente distancia de estructuras existentes, debe

considerarse la aplicación de la técnica de la compactación dinámica profunda, consistente en dejar caer un peso considerable, desde una cierta altura, repetitivamente sobre una serie de puntos distribuidos en un patrón predeterminado.

- (g) *Vibroflotación* - Esta técnica, consiste en la introducción dentro del suelo, mediante chorros de agua, de un cabezote vibratorio; ha demostrado su utilidad. Las perforaciones hechas con la herramienta citada, son luego rellenas con gravas.
 - (h) *Voladuras controladas a profundidad* - Esta técnica, aún en estado experimental consiste en detonar cargas explosivas a profundidad, con un cierto patrón de localización y en presencia de agua.
 - (i) *Diseño estructural tolerante* - En los casos donde se demuestra que el asentamiento resultante del colapso no es inadmisibles, debe diseñarse la estructura para resistir dicho movimiento sin distorsión ni daño aparente.
-