



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIDAD DE POSGRADO

SUELOS EXPANSIVOS Y COLAPSABLES

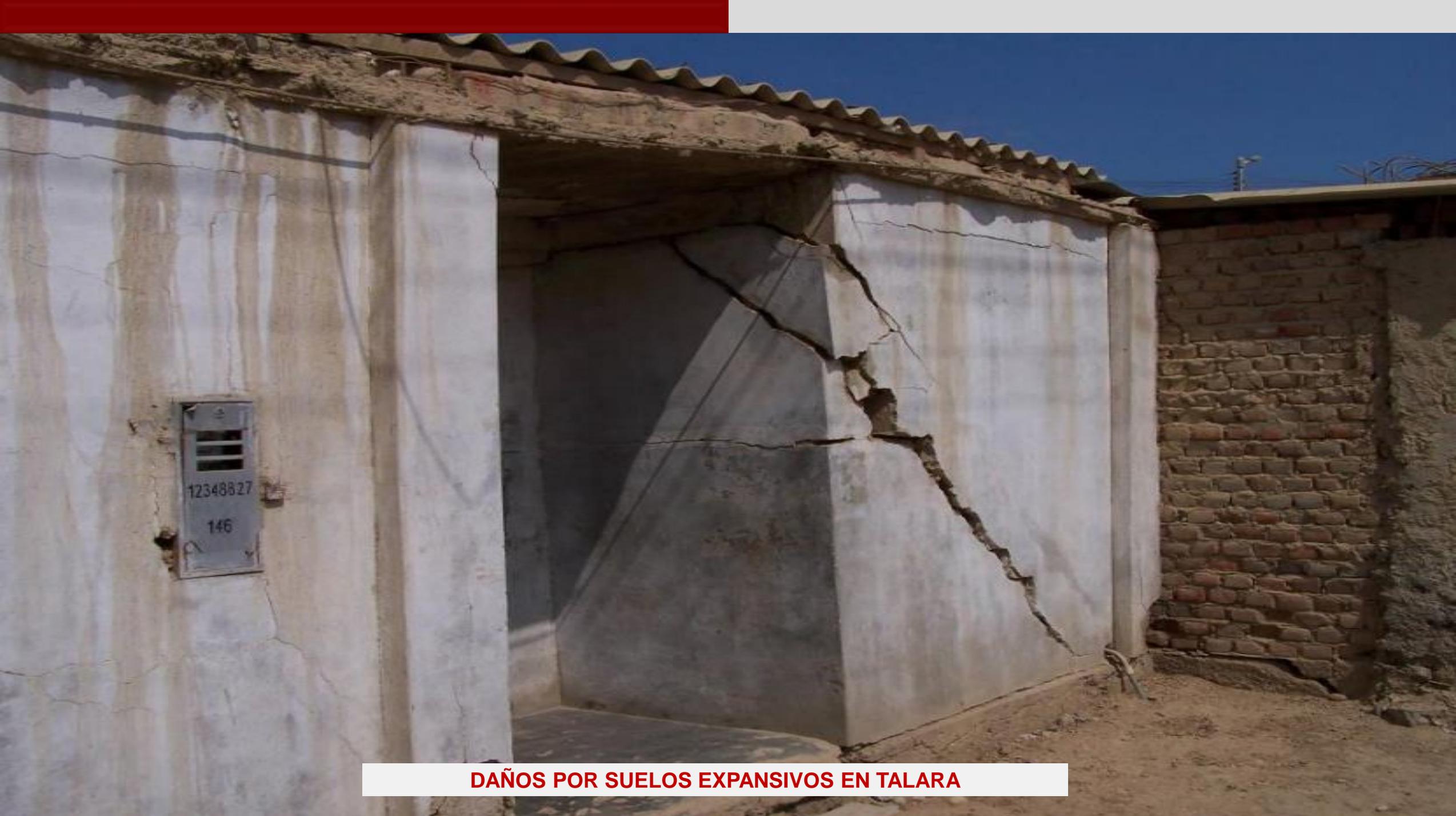
Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado
www.jorgealvahurtado.com

¿Qué hace que un suelo se expanda?

- Varios minerales arcillosos se encuentran en la naturaleza.
- Las diferencias se definen por su composición química y configuración estructural.
- Tres de los minerales arcillosos más comunes son la Caolinita, la Illita y la Montmorillonita (parte del grupo de las esmectitas).
- Las diferentes composiciones químicas y estructuras cristalinas de estos minerales dan a cada uno una susceptibilidad diferente a la expansión, como se muestra:

Sobrecarga (kPa)	Potencial de Expansión (%)		
	Caolinita	Illita	Montmorillonita
9.6	Despreciable	350	1500
19.1	Despreciable	150	350

Potencial de expansión de minerales de arcilla pura
(Adaptado de Budge et al., 1964)



DAÑOS POR SUELOS EXPANSIVOS EN TALARA



DAÑOS POR SUELOS EXPANSIVOS EN TALARA



**LEVANTAMIENTO DE EDIFICACIONES
PUNTA ARENAS, TALARA**



DAÑOS EN SAN ANTONIO-MOQUEGUA



DAÑOS EN POLICLÍNICO SAN ANTONIO-MOQUEGUA



**DAÑOS POR SUELOS EXPANSIVOS
LOPEZ ALBÚJAR - SAN ANTONIO -
MOQUEGUA**

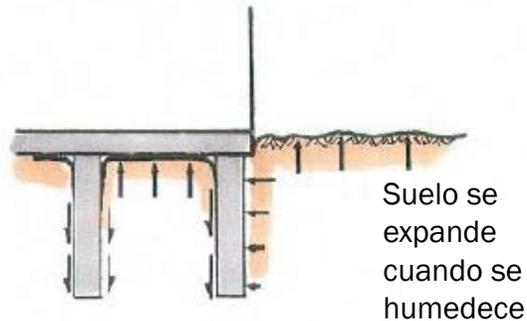
(1)



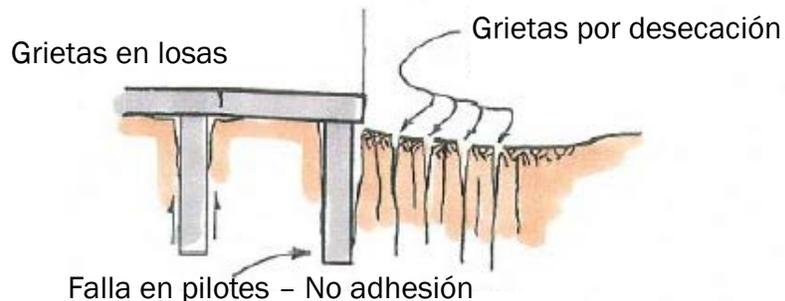
DAÑO EN ESTRUCTURA APOYADA EN PILOTES POCO PROFUNDOS

(1) Al comienzo de la temporada de lluvias, los pilotes soportan a la estructura (en este caso pilotes de fricción). Cuando comienza a llover, el agua penetra profundamente en el suelo a través de las grietas. (2) Después de 5 a 10 grandes tormentas, el suelo se hincha, levantando la casa y los pilotes. (3) En la estación seca, el nivel freático cae y el suelo se seca y se contrae. A medida que crecen las grietas de tensión alrededor del pilote, la fricción pilote-suelo se reduce y la aumenta el esfuerzo efectivo del suelo (debido al secado). Cuando la carga del edificio excede la fricción superficial restante, o el esfuerzo efectivo del suelo aumenta a un máximo histórico, la adherencia se rompe y el pilote falla.

(2)



(3)



(Rogers)

La expansión se produce cuando se absorbe agua entre láminas combinadas de sílice y alúmina que forman la estructura molecular de las arcillas, lo que hace que las láminas combinadas se separen.

La caolinita es esencialmente no expansiva debido a la presencia de fuertes enlaces de hidrógeno que mantienen unidas las láminas combinadas individuales.

La Illita contiene enlaces de potasio más débiles que permiten una expansión limitada.

Las láminas combinadas en la Montmorillonita solo están unidas débilmente. Por lo tanto, el agua se puede absorber fácilmente en arcillas de montmorillonita y separar las láminas moleculares.

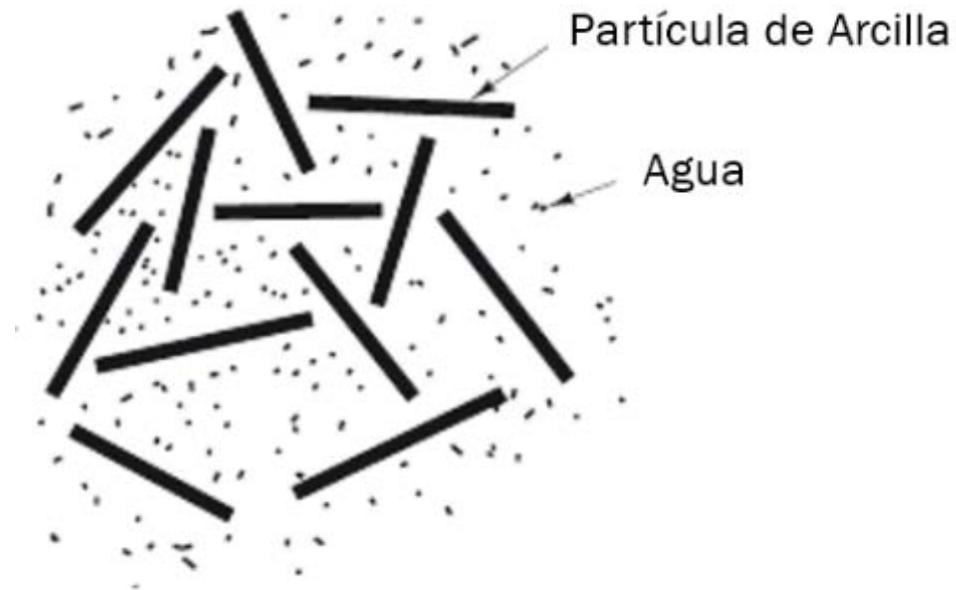
Las observaciones de campo han confirmado que los mayores problemas ocurren en suelos con un alto contenido de montmorillonita.

Varias otras fuerzas también actúan sobre las partículas de arcilla, incluidas las siguientes:

- Tensión superficial en los meniscos del agua contenida entre las partículas (tiende a juntar las partículas, comprimiendo el suelo).
- Presiones osmóticas (tienden a traer agua, presionando así las partículas más separadas y expandiendo el suelo).
- Presiones en las burbujas de aire atrapadas (tienden a expandir el suelo).
- Tensiones efectivas debidas a cargas externas (tienden a comprimir el suelo).
- Fuerzas intermoleculares de London-Van Der Waals (tienden a comprimir el suelo).

Las arcillas expansivas se hinchan o encogen en respuesta a cambios en estas fuerzas.

Por ejemplo, considere los efectos de los cambios en la tensión superficial y las fuerzas osmóticas imaginando una montmorillonita arcilla que está inicialmente saturada, como se muestra en la Figura.



Si este suelo se seca, la humedad restante se congrega cerca de las interfases de las partículas, formando meniscos, y las fuerzas de tensión superficial resultantes acercan las partículas y provocan que el suelo se encoja.



Contracción por
secado de una arcilla



Expansión por
humedecimiento de una arcilla

Podríamos comparar el suelo en esta etapa con un resorte comprimido: ambos se expandirían si no fuera por las fuerzas que los mantienen comprimidos. El suelo de la figura de suelo contraído tiene una gran afinidad por el agua y extraerá el agua disponible mediante ósmosis.

Diríamos que tiene una succión muy alta en esta etapa. Si hay agua disponible, la succión la atraerá hacia los espacios entre las partículas y el suelo se hinchará, como se muestra en la figura de la derecha. Volviendo a nuestra analogía, el resorte se ha liberado y quizás ahora se está forzando hacia afuera.

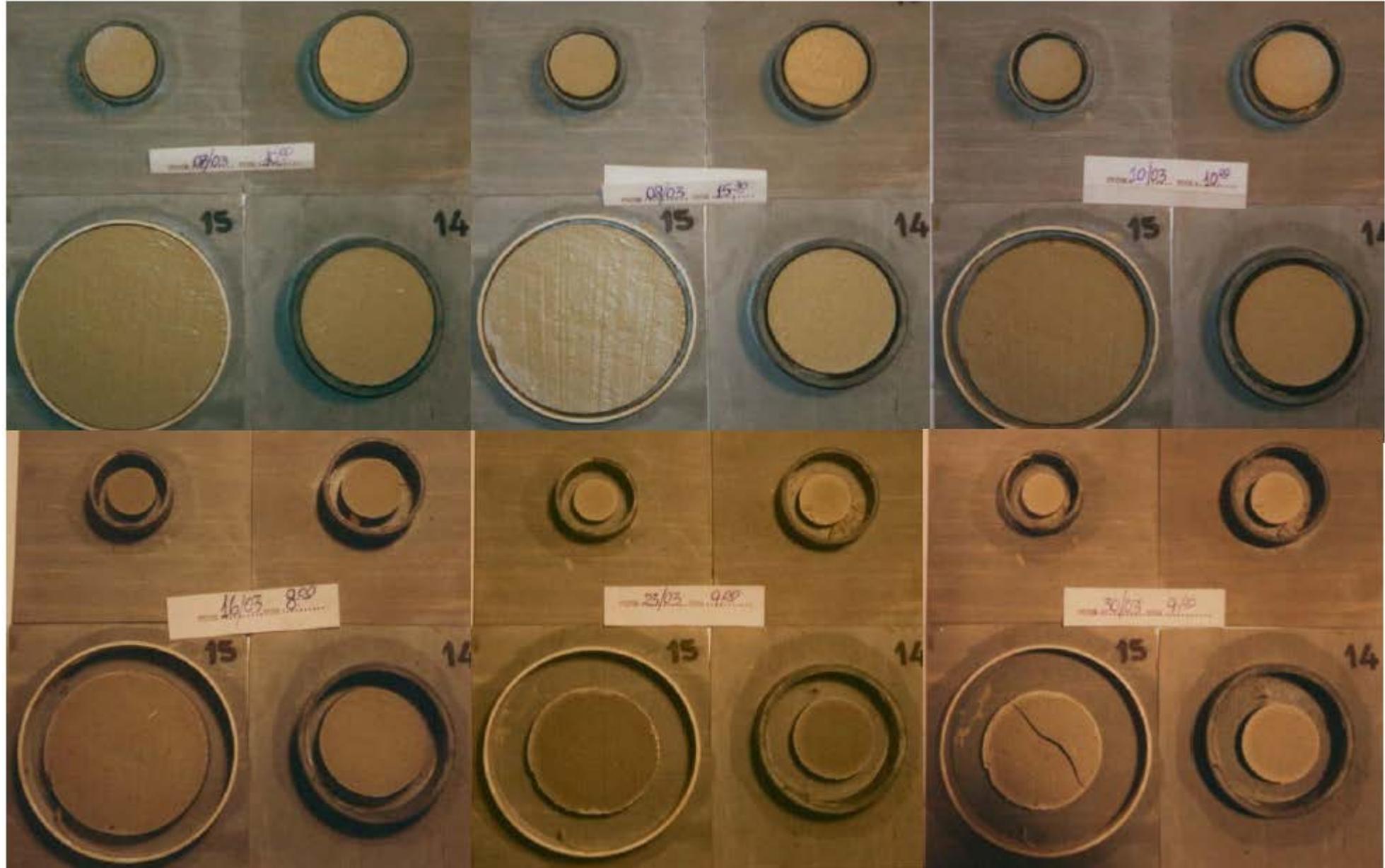


Contracción por
secado de una arcilla



Expansión por
humedecimiento de una arcilla

Experiencia de contracción de arcillas



¿Qué factores controlan la cantidad de expansión?

Uno de estos factores es el porcentaje de arcillas expansivas en el suelo.

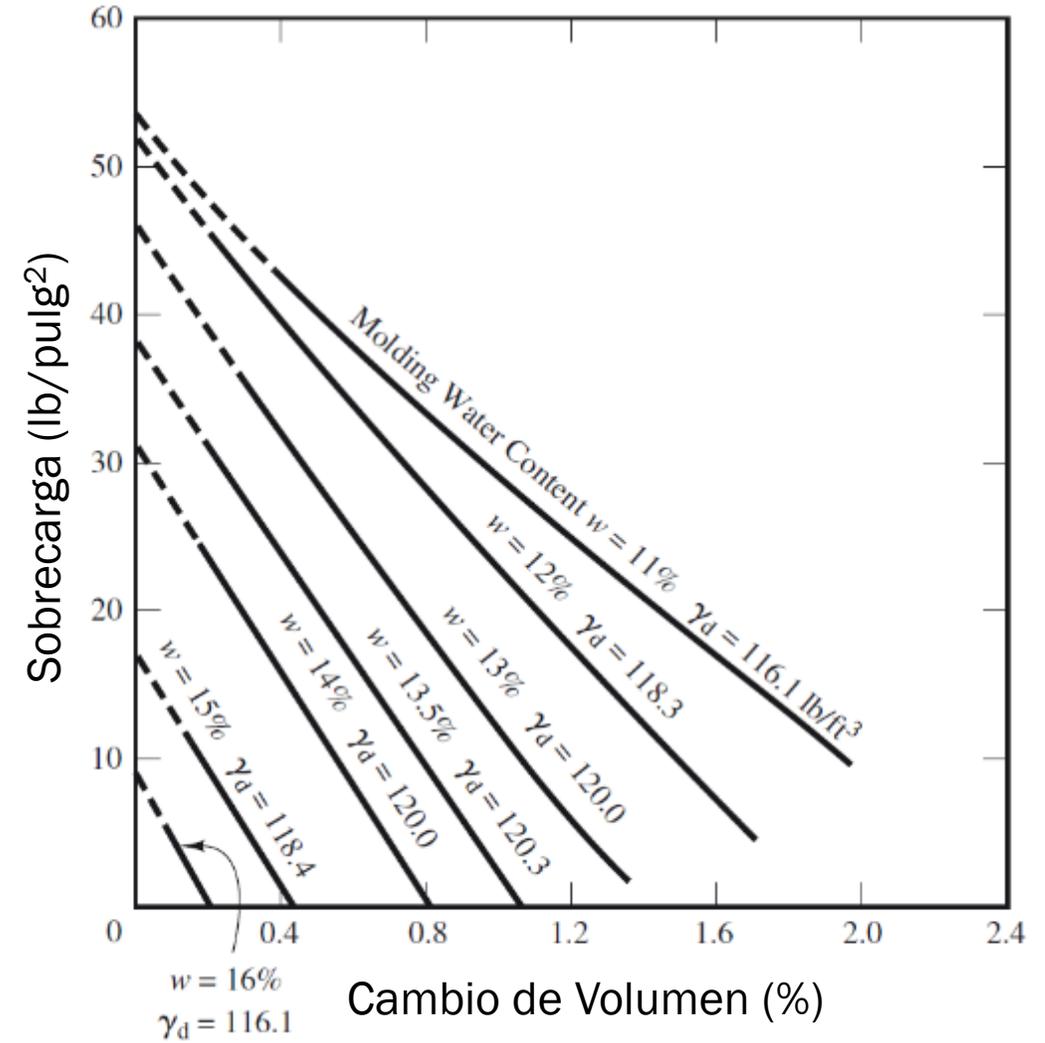
Por ejemplo, una montmorillonita pura podría hincharse más de quince veces su volumen original.

Por lo general, los minerales arcillosos expansivos se mezclan con arcillas más estables y con arenas o limos. Una típica “montmorillonita” (realmente un suelo mixto) probablemente no se expandiría más del 35 al 50 por ciento, incluso en las peores condiciones de laboratorio, y mucho menos en el campo.

Hay dos tipos de arcilla de montmorillonita: montmorillonita de calcio y montmorillonita de sodio (también conocida como bentonita). Esta última es mucho más expansiva, pero menos común.

Dos de las variables más importantes a considerar son el contenido de humedad inicial y la presión de sobrecarga.

Si el suelo está inicialmente húmedo, entonces hay mucho menos potencial de expansión adicional que si estuviera seco. Asimismo, incluso una sobrepresión moderada restringe gran parte del potencial de expansión (aunque normalmente se requieren grandes cargas para inmovilizar completamente el suelo).



Potencial de expansión en función del contenido de humedad inicial y la sobrecarga (típica) (adaptado de Seed et al., 1962).

Remodelar un suelo en un relleno compactado puede hacerlo más expansivo (O'Neill y Poormoayed, 1980), probablemente porque este proceso rompe la cementación en el suelo y produce altas presiones negativas del agua de los poros que luego se disipan.

Muchos otros factores también afectan las propiedades expansivas de los rellenos, especialmente el método utilizado para compactar el relleno (amasado frente a estático) y el contenido de humedad y el peso unitario seco de la compactación (Seed y Chan, 1959).

Aunque las pruebas de laboratorio son útiles, es posible que no predigan con precisión el comportamiento de los suelos expansivos en el campo. Esto se debe en parte a que el suelo del laboratorio generalmente está inundado de agua, mientras que el suelo en campo puede tener un acceso limitado al agua.

El flujo de agua al suelo en el campo depende de muchos factores, incluidos los siguientes:

- El suministro de agua (depende de la lluvia, el riego y el drenaje superficial).
- Evaporación y transpiración (depende del clima y la vegetación; los árboles grandes pueden extraer grandes cantidades de agua del suelo a través de sus raíces).
- La presencia de fisuras en el suelo (el agua fluirá por las fisuras mucho más fácilmente que por el suelo).
- La presencia de lentes de arena o grava (ayuda a que el agua penetre en el suelo).
- La afinidad del suelo por el agua (su succión).

Cuando el suelo se humedece (regamos las plantas) se hincha

La presión de expansión es mucho mayor que el peso de la vivienda

La expansión no es uniforme: daños a la construcción

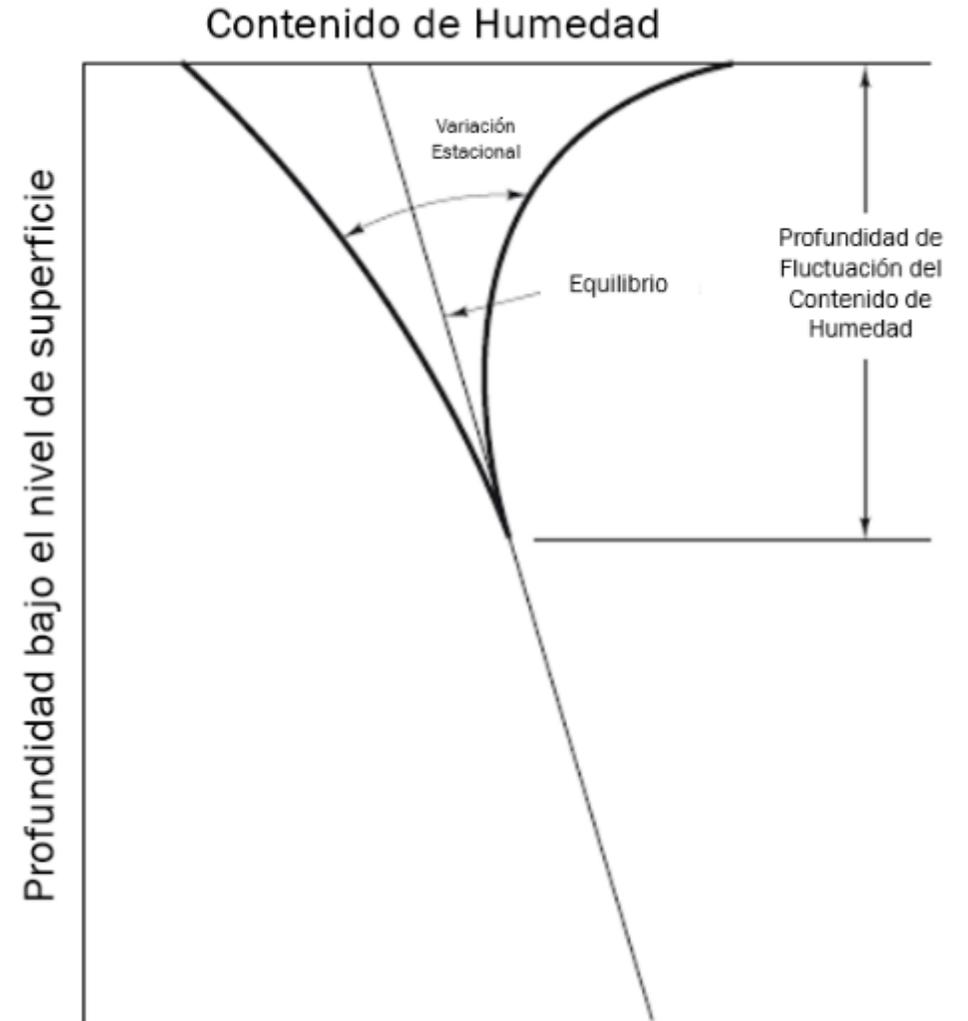


Profundidad de la Zona Activa

Nelson et al. (2001) proponen una definición general y rigurosa:

La zona activa es la zona de suelos que está contribuyendo al levantamiento debido a la expansión del suelo.

Con esta definición, la zona activa puede cambiar con el tiempo y depende de la cantidad de agua que entra y sale del suelo debido a los cambios climáticos naturales en la superficie y al humedecimiento artificial del suelo a partir de fuentes externas de agua.

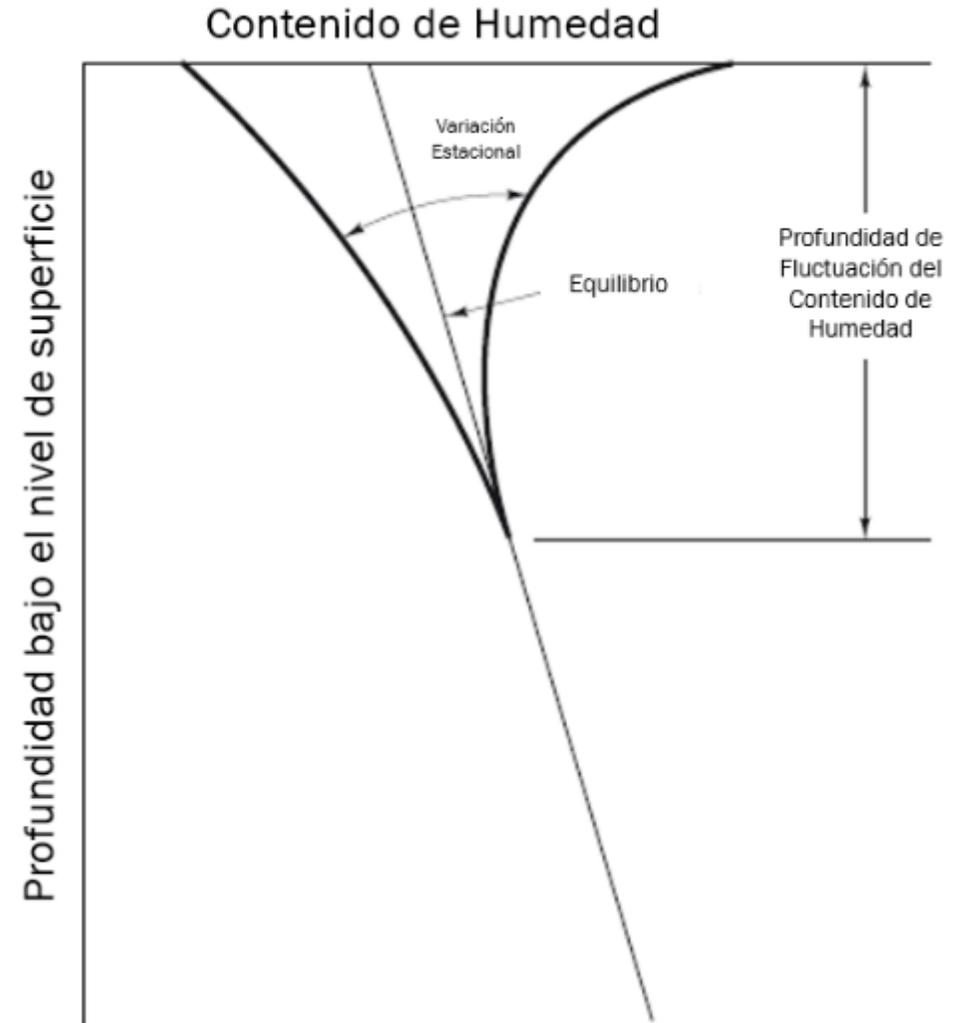


Profundidad de la Zona Activa

Los suelos superiores responden más rápidamente a variaciones en la precipitación y la evaporación / transpiración.

Durante el transcurso de un año, los suelos a diferentes profundidades experimentarán las fluctuaciones de humedad que se muestran en la figura.

El contenido de humedad es razonablemente constante por debajo de la profundidad donde fluctúa, como se muestra en la figura, por lo que no ocurre expansión debajo de este punto. En este caso, la zona activa para el diseño se puede tomar como la zona de fluctuaciones del contenido de humedad.



Influencia de las Actividades Humanas

Se deben considerar cómo las actividades humanas, especialmente las nuevas construcciones, afectan la expansión del suelo en un sitio determinado.

Además de posiblemente cambiar las presiones de sobrecarga en los suelos subterráneos, las actividades humanas pueden cambiar las condiciones de humedad en un sitio en particular y, por lo tanto, también la profundidad de la zona activa.

Las actividades humanas que pueden afectar la profundidad de la zona activa incluyen:

- La eliminación de la vegetación que pone fin a la transpiración.
- La colocación de pisos de losa a nivel, pavimentos u otros materiales impermeables en el suelo detiene tanto la evaporación como la infiltración directa del agua de lluvia.
- El riego del paisaje introduce mucha más agua en el suelo.
- La colocación de árboles agresivos o edificios con calefacción puede incrementar la desecación.

Influencia de las Actividades Humanas

Es necesario evaluar los efectos de estos cambios en la profundidad y el grado de humedecimiento y, por lo tanto, en la zona activa.

El efecto neto en áreas áridas y semiáridas normalmente es aumentar el contenido de humedad de los suelos debajo de las estructuras. Esto resulta en más hinchazón y más daño estructural. Si se trata de un humedecimiento artificial del suelo, por ejemplo, debido al riego de jardines, la zona de humedecimiento puede tomarse como zona activa y puede estimarse a partir de la experiencia local y los datos empíricos.

Alternativamente, la profundidad y el grado de humedecimiento para diferentes paisajes y las condiciones de drenaje se pueden obtener utilizando la mecánica de los suelos no saturados para modelar la migración del agua en la zona vadosa (no saturada).

La profundidad de la zona activa está limitada por la profundidad del potencial expansión, definida por Nelson et al. (2001) como la profundidad a la que la presión de sobrecarga vertical es igual a la presión de expansión.

En resumen, la profundidad de la zona activa en un sitio determinado depende de la geología local, los patrones climáticos regionales y las actividades humanas locales.

Identificación, Pruebas y Evaluación de Suelos Expansivos

Primera etapa de identificación:

Para ser expansivo, un suelo debe tener un contenido de arcilla significativo, probablemente dentro del símbolo del grupo de clasificación de suelos unificada CL o CH (aunque algunos suelos ML, MH y SC también pueden ser expansivos).

Un suelo seco y expansivo a menudo tendrá fisuras, lados en rodajas o roturas, todos los cuales son signos de hinchazón y encogimiento previos. Cuando están secos, estos suelos suelen tener grietas en la superficie del suelo.

Identificación, Pruebas y Evaluación de Suelos Expansivos

Segunda etapa de identificación:

Determinar el grado de expansión. Se ha propuesto una amplia variedad de métodos de prueba y evaluación.

- Métodos puramente cualitativos (con base empírica).
- Métodos semicuantitativos. Generan resultados numéricos, pero se determina un índice de expansión, no una propiedad física fundamental.
- Métodos que proporcionan resultados cuantitativos que son medidas de propiedades físicas fundamentales y se convierten en la base de un procedimiento de diseño racional o semirracional.

- Métodos cualitativos:

Percent Colloids	Plasticity Index	Shrinkage Limit	Liquid Limit	Swelling Potential
<15	<18	<15	<39	Low
13–23	15–28	10–16	39–50	Medium
20–31	25–41	7–12	50–63	High
>28	>35	>11	>63	Very high

Correlaciones entre el potencial de expansión con ensayos de laboratorio
(Adaptado de Holtz, 1969 y Gibbs, 1969)

Laboratory and Field Data			Degree of Expansiveness			
Percent Passing #200 Sieve	Liquid Limit	SPT N Value	Probable Expansion (%) ^a	Swell Pressure		Swelling Potential
				(k/ft ²)	(kPa)	
<30	<30	<10	<1	1	50	Low
30–60	30–40	10–20	1–5	3–5	150–250	Medium
60–95	40–60	20–30	3–10	5–20	250–1,000	High
>95	>60	>30	>10	>20	>1,000	Very high

^a Percent volume change when subjected to a total stress of 1,000 lb/ft² (50 kPa).

Correlaciones entre el potencial de expansión con ensayos de laboratorio
(Adaptado de Chen, 1988)

- Métodos cualitativos:

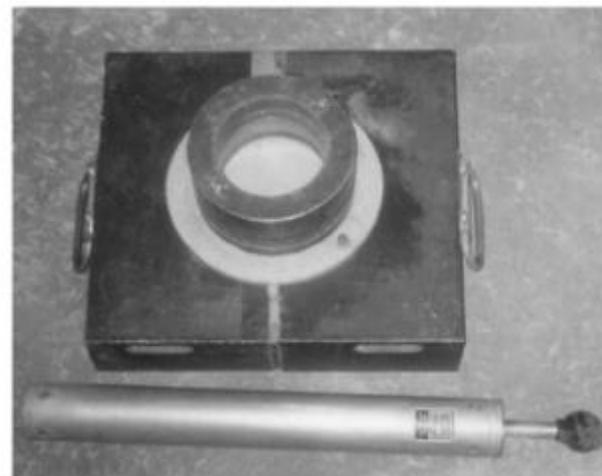
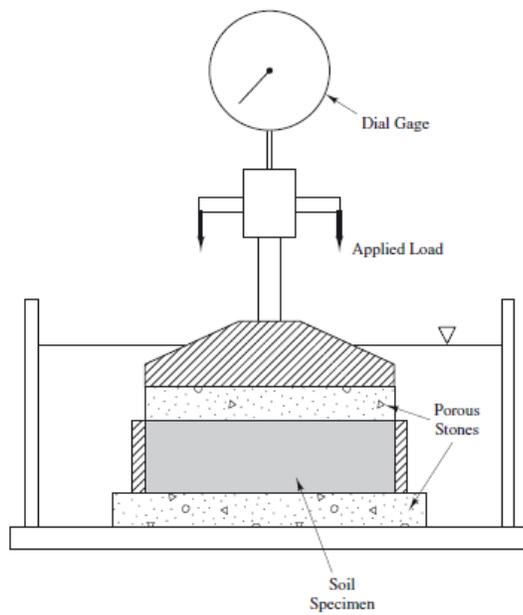
Potencial de expansión	Expansión en consolidómetro bajo presión vertical de 7 kPa (0,07 kgf/cm ²)	Índice de plasticidad	Porcentaje de partículas menores que dos micras
%	%	%	%
Muy alto	> 30	> 32	> 37
Alto	20 – 30	23 – 45	18 – 37
Medio	10 – 20	12 – 34	12 – 27
Bajo	< 10	< 20	< 17

Norma E-050. Suelos y Cimentaciones

- Métodos semicualitativos:

El más común para describir suelos expansivos es en términos de su potencial de expansión.

Las pruebas de expansión con carga controlada generalmente utilizan una muestra cilíndrica confinada lateralmente. La muestra inicialmente seca se carga y luego se satura. La muestra se hincha verticalmente y este desplazamiento dividido por la altura inicial (inmediatamente antes del remojo) es el potencial de expansión, generalmente expresado como porcentaje.

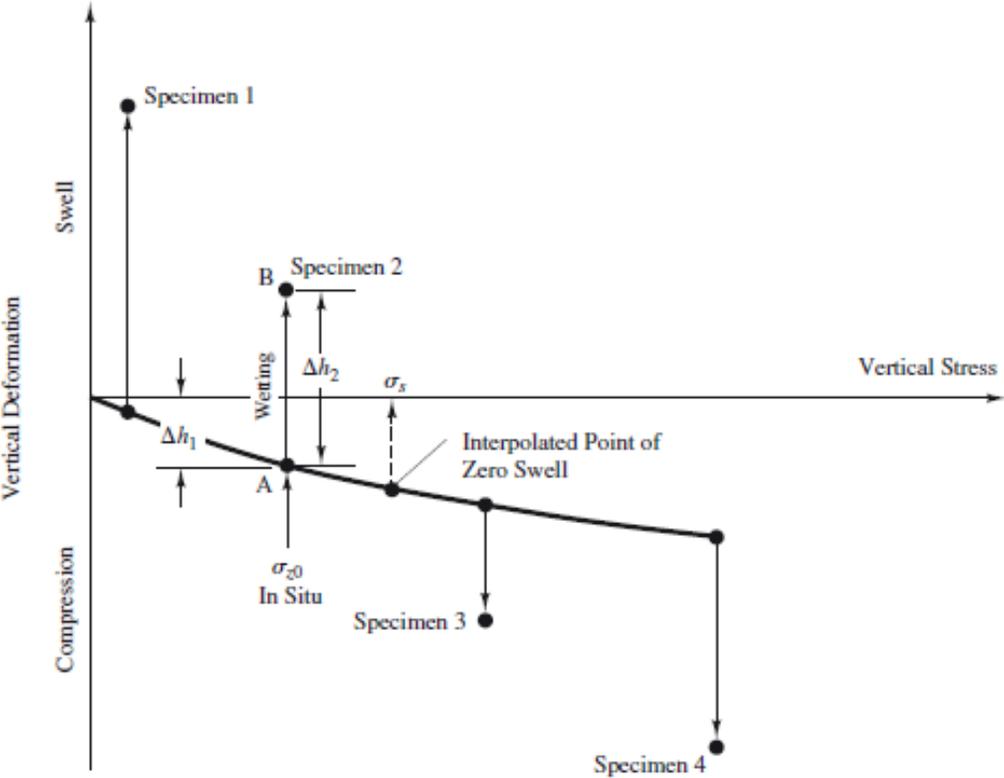


Preparación muestra

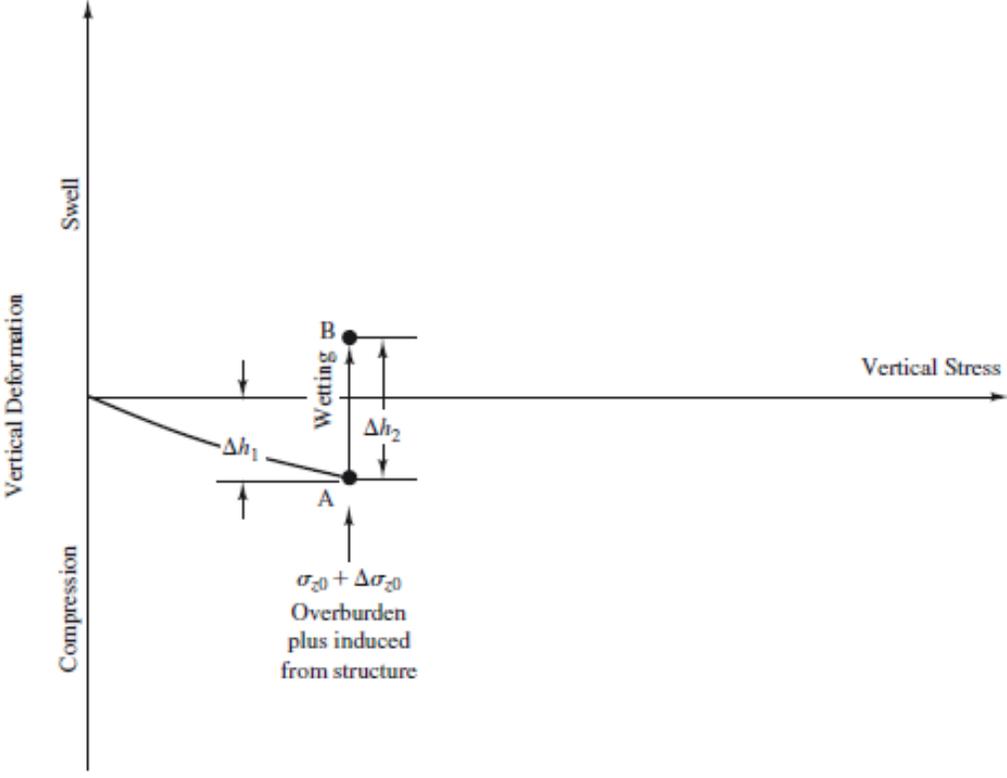


Ensayo

ASTM D4546-14

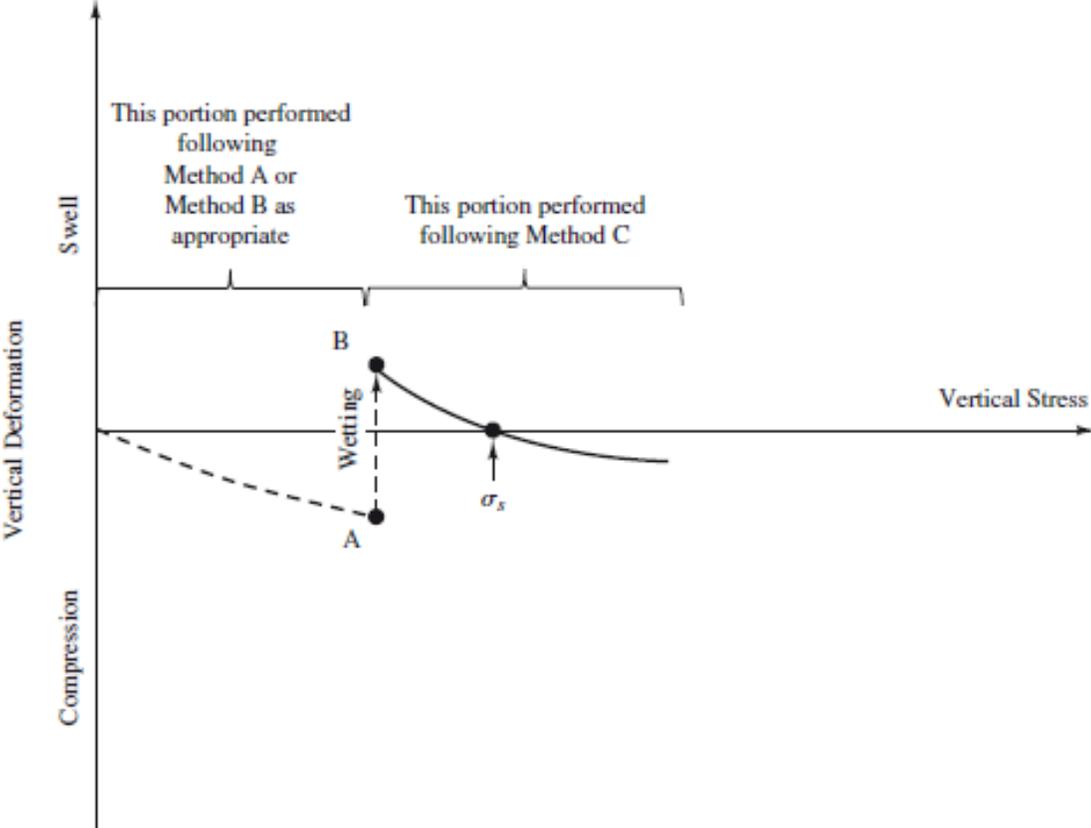


Método A



Método B

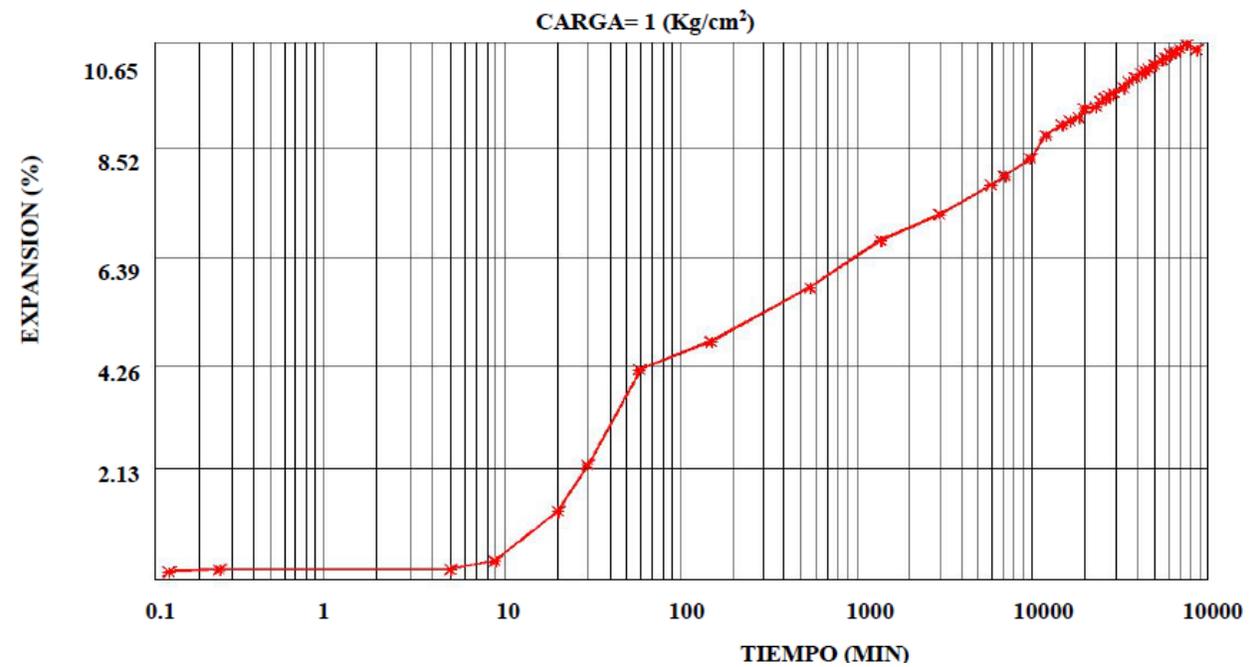
ASTM D4546-14



Método C

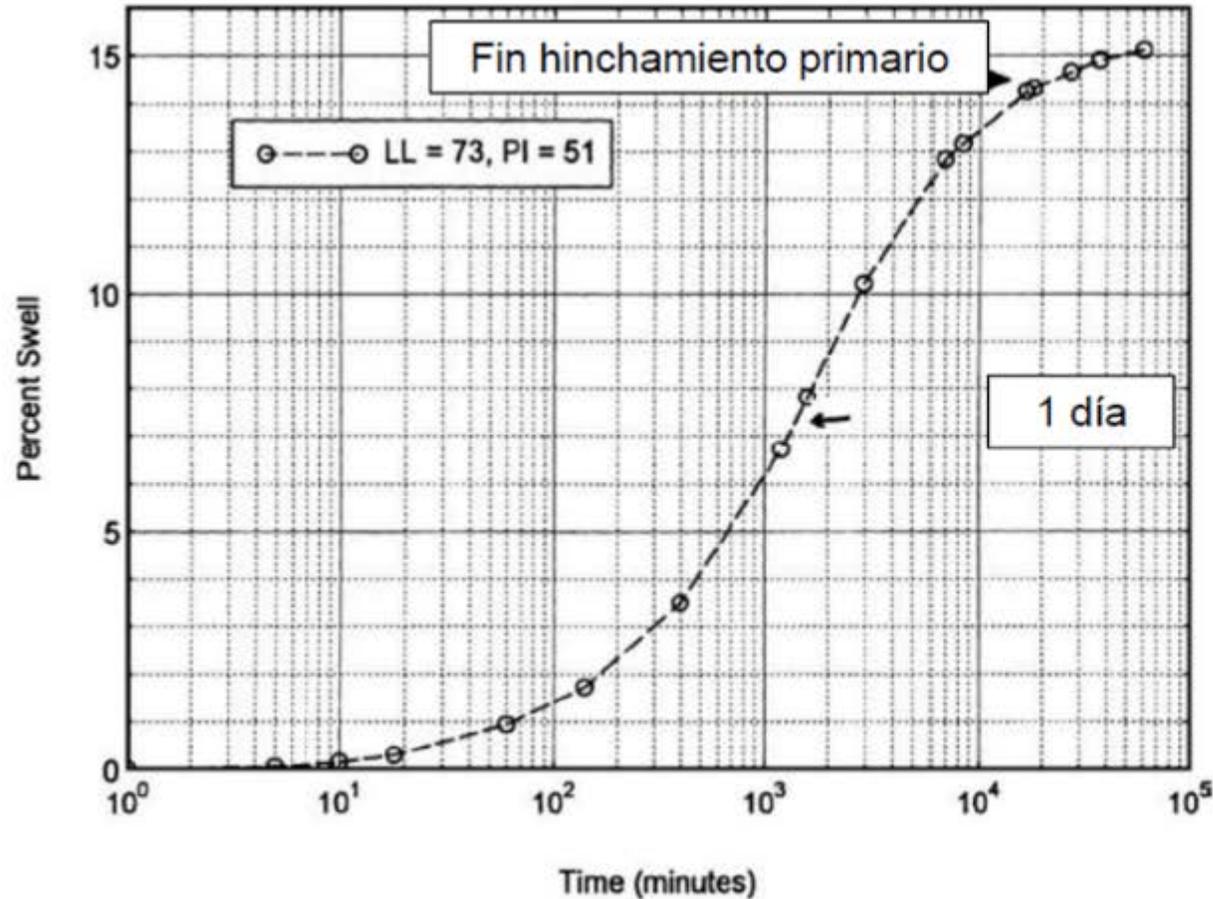


ETAPA DE CARGA PARA EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN



RESULTADO DE ENSAYO DE EXPANSIÓN CONTROLADA

Índice de Expansión



$$EI = \frac{\Delta H}{H_1} \times 1000$$

$$EI_{50} = EI - (50 - S_r) \times \frac{65 + EI}{220 - S_r}$$

Índice de expansión del ensayo y corregido al 50% (ASTM D4829)

EI = Índice de Expansión

h = Expansión del suelo

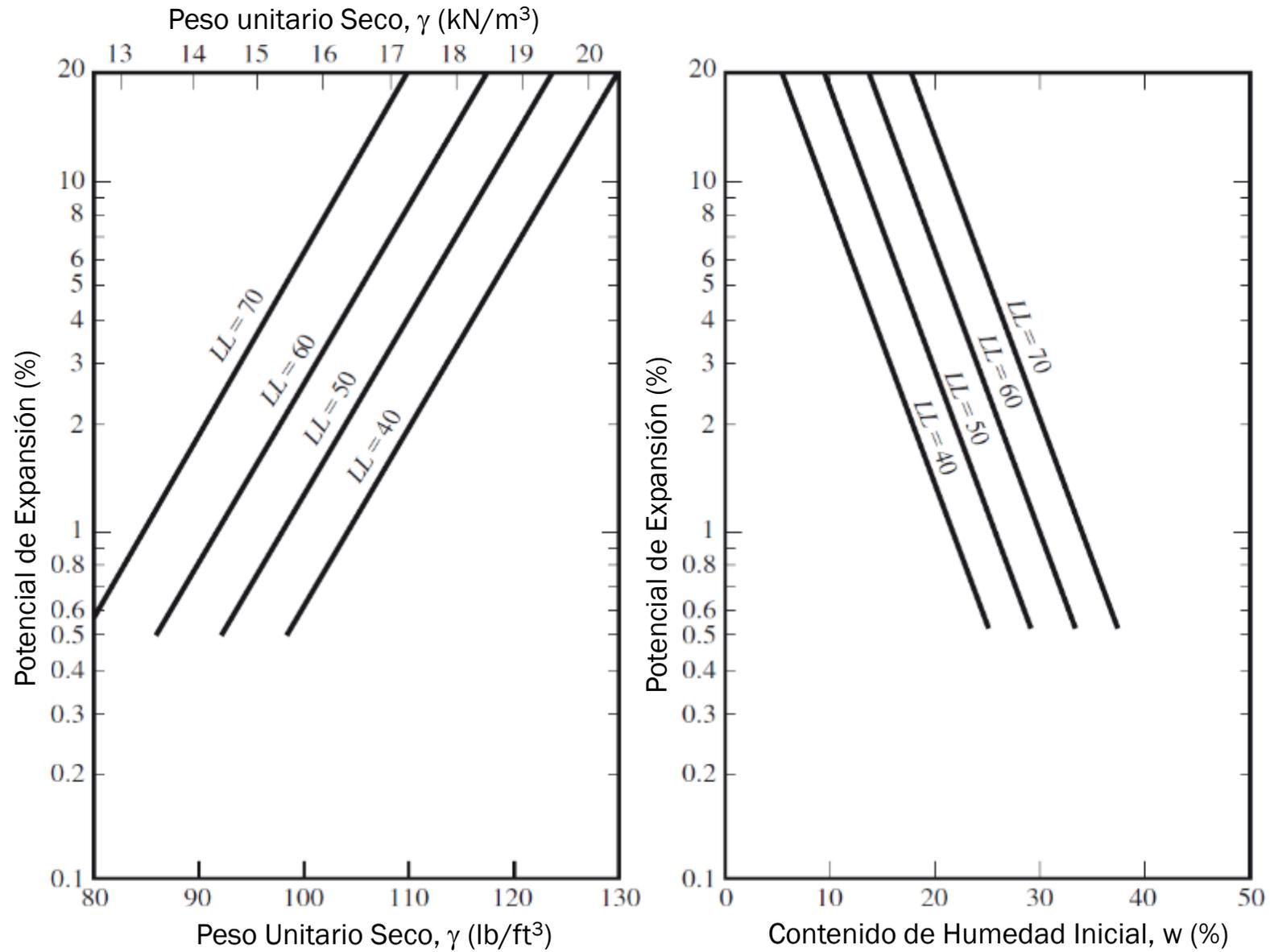
H = Altura inicial del espécimen inmediatamente antes del saturarlo.

Índice de Expansión

Interpretación del Índice de Expansión (ASTM D4829-11)

IE	Potencial de Expansión
0 - 20	Muy Bajo
21 - 50	Bajo
51 - 90	Medio
91 - 130	Alto
>130	Muy Alto

Correlaciones entre el potencial de expansión (adaptado de Vijayvergiya y Ghazzaly (1973);

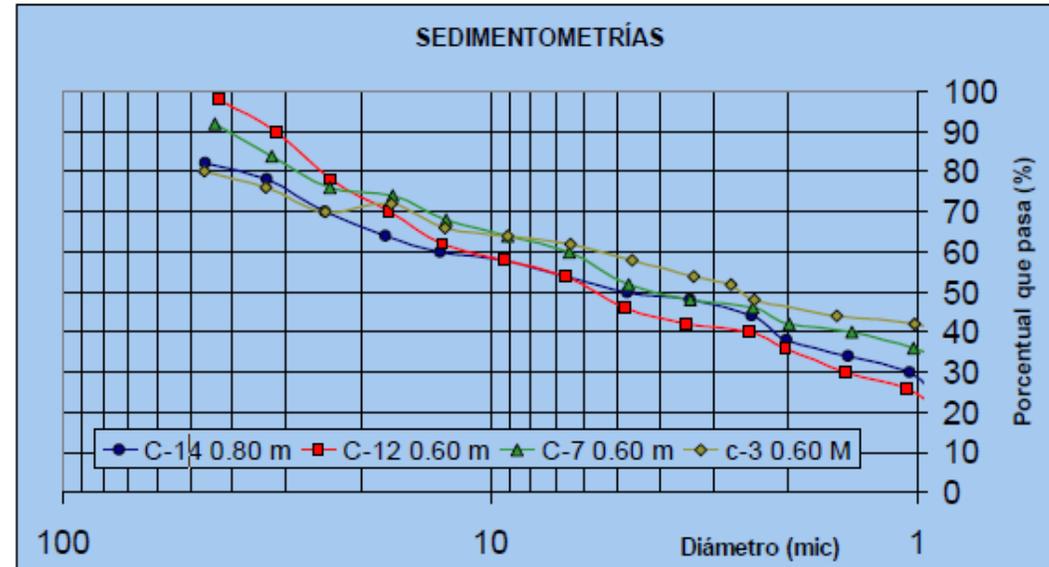


Caracterización de Expansividad: Índice de Actividad

El índice de actividad mide la actividad eléctrica de la arcilla

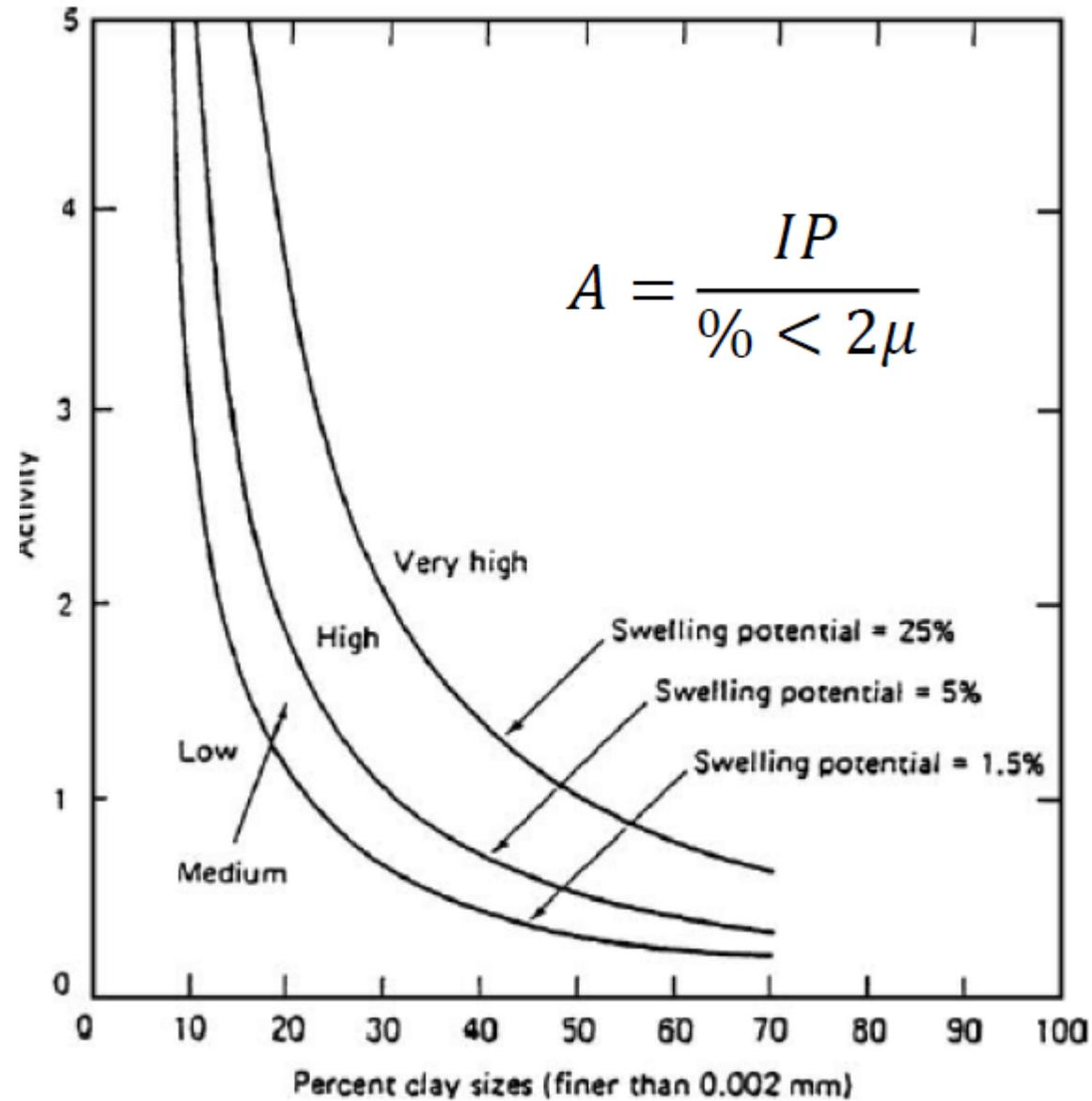
$$A = \frac{IP}{\% < 2\mu}$$

Si el IP es alto con poca cantidad de arcilla, ésta es muy activa

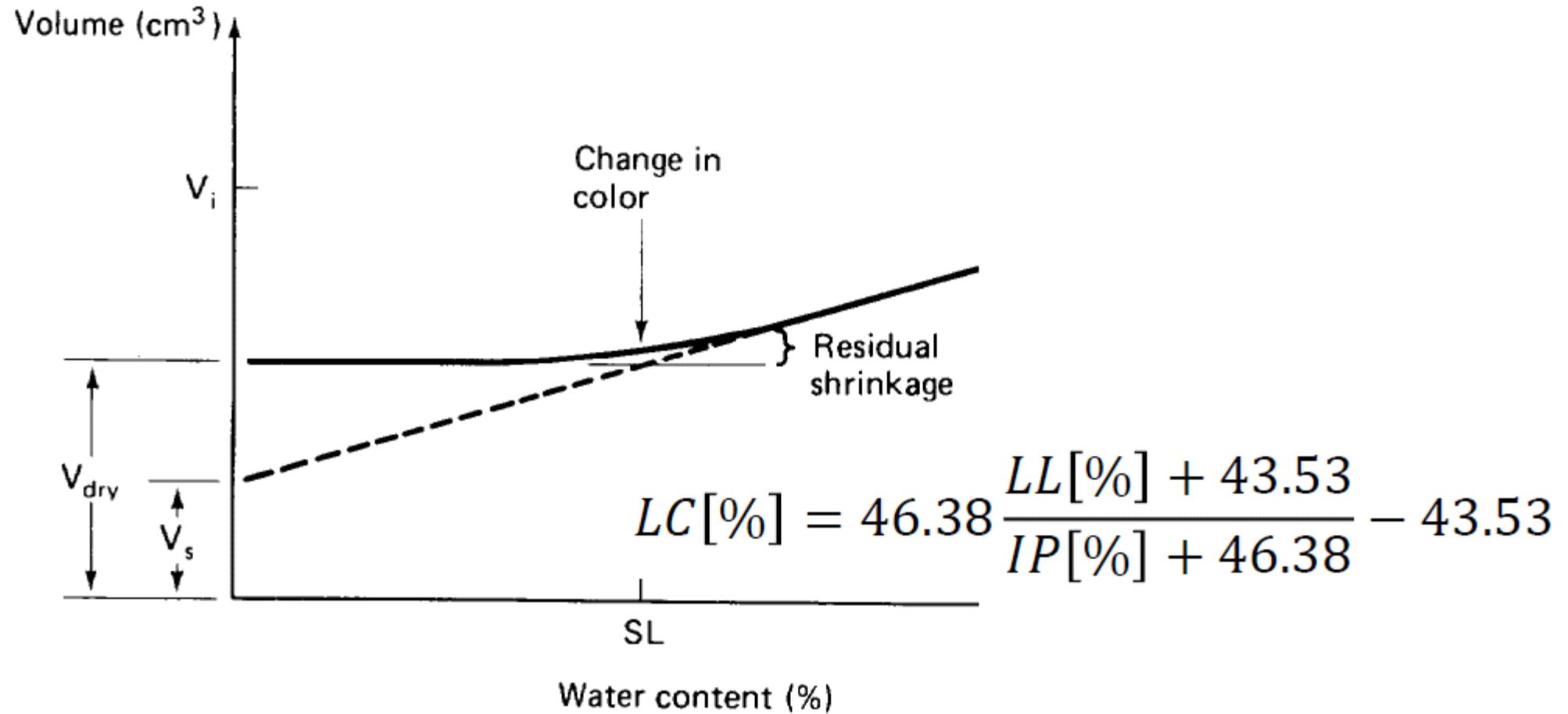


Mineral	Activity
Smectites	1 - 7
Illite	0.5 - 1
Kaolinite	0.5
Halloysite (2H ₂ O)	0.5
Halloysite (4H ₂ O)	0.5
Attapulgite	0.5 - 1.2
Allophane	0.5 - 1.2

Caracterización de Expansividad: Índice de Actividad



Caracterización de Expansividad: Límite de Contracción



Caracterización de Expansividad: Superficie Específica

Es la relación entre la superficie de una partícula (m^2) y su masa (gr)

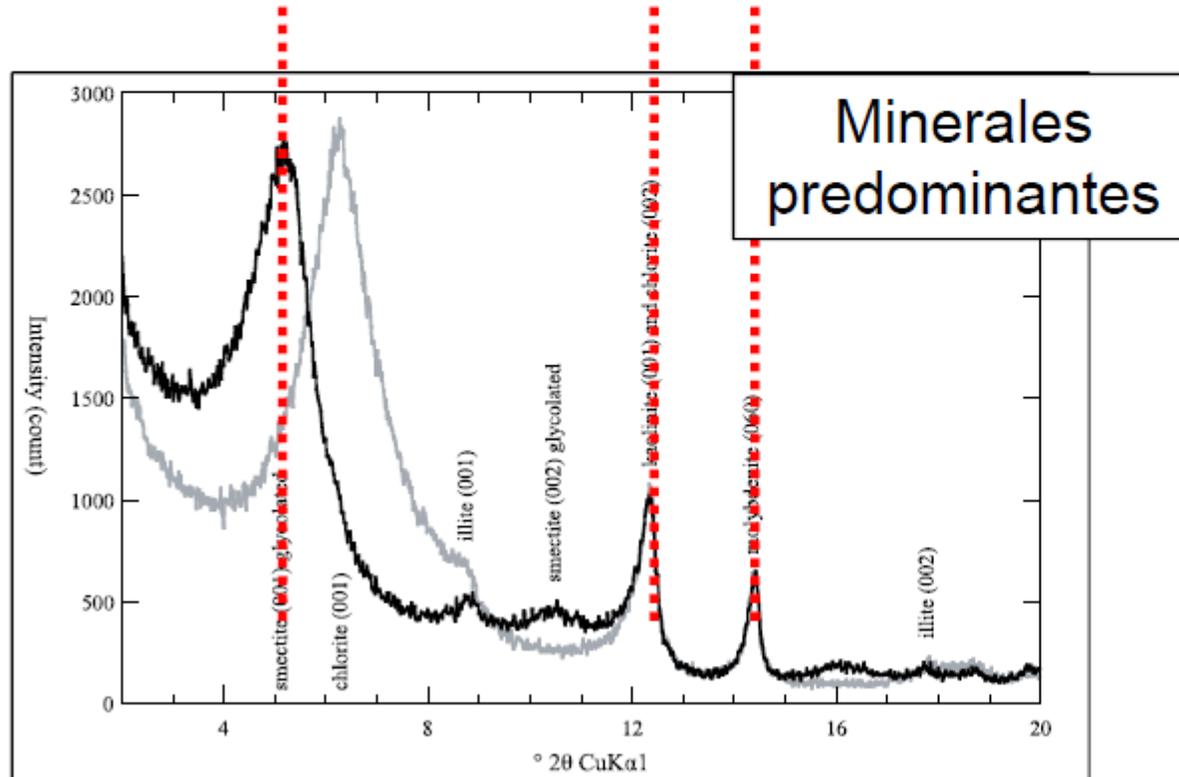
Mide el grado de aglomeración de paquetes de hojas de arcilla

Forma o Geometría	Dimensiones	Ejemplos	Superficie específica
Esferas y cubos 	Diámetro (o lado) D	Alofanos	$S_e = \frac{6}{D \cdot \rho_w \cdot G_s}$
Cilindros y prismas 	Diámetro (o lado) D , largo L (con $L \gg D$)	Haloisita, Imogolita	$S_e = \frac{4}{D \cdot \rho_w \cdot G_s}$
Formas aplanadas 	Espesor t , ancho D , y largo L (con $t \gg L > D$)	Montmorillonita, Caolinita, Mica	$S_e = \frac{2}{t \cdot \rho_w \cdot G_s}$

ρ_w = densidad del agua, G_s = gravedad específica, S_e = superficie específica

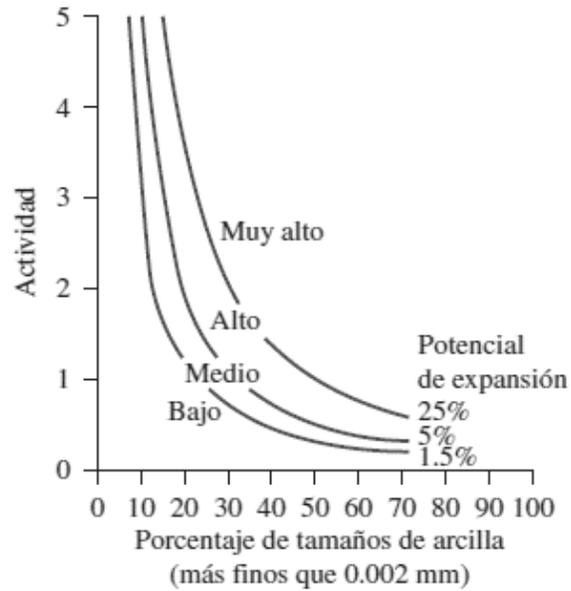
Caracterización de Expansividad: Difracción Rayos X

- Se ataca una muestra con rayos α
- Se cuentan las veces que se repite un ángulo de difracción (función de los minerales presentes)

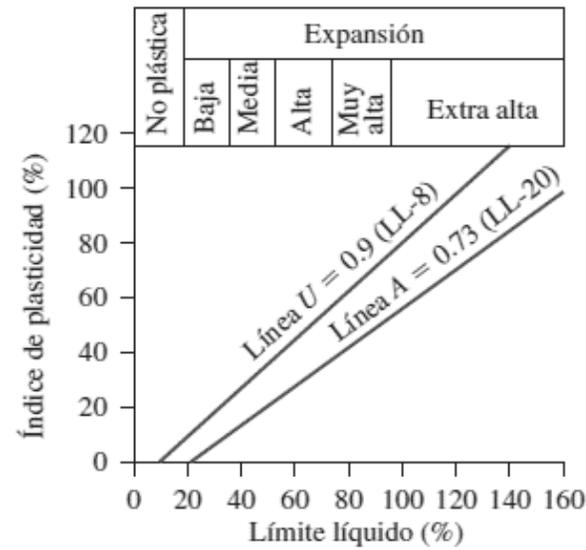


$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \text{sen}(\theta)$$

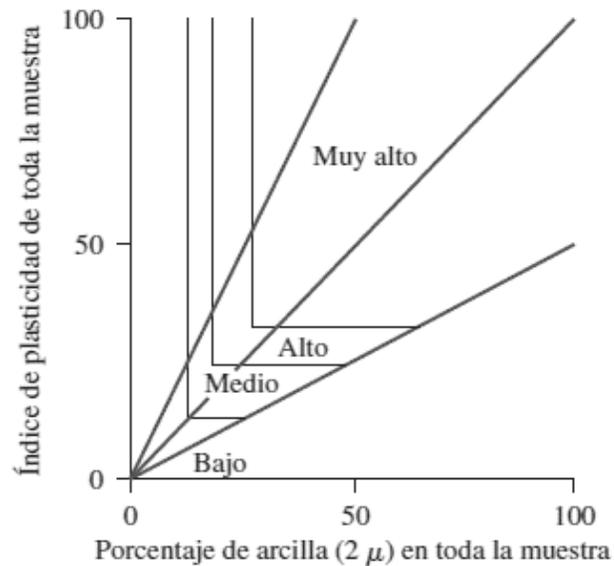
(Ley de Bragg)



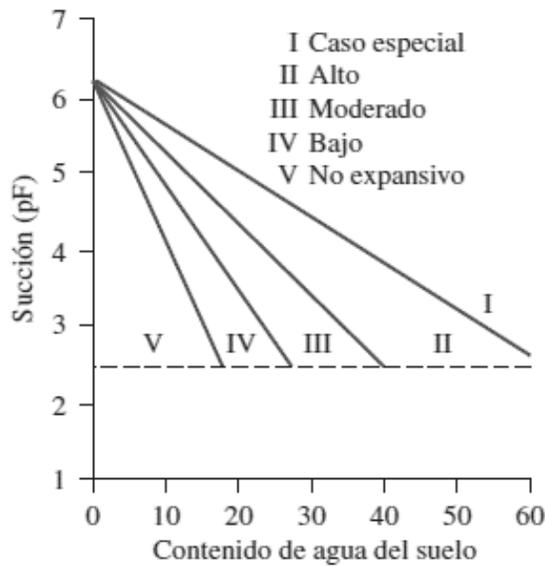
a)



b)



c)



d)

Criterios de uso común para determinar el potencial de expansión. [De Abduljawwad, S.N. y Al-Sulaimani, G.J. (1993). “Determination of Swell Potential of Al-Qatif Clay”, *Geotechnical Testing Journal*, American Society for Testing and Materials, vol. 16, núm. 4, pp. 469-484. Derechos de autor de la ASTM INTERNATIONAL.

Caracterización de Expansividad: California Bearing Ratio (CBR)

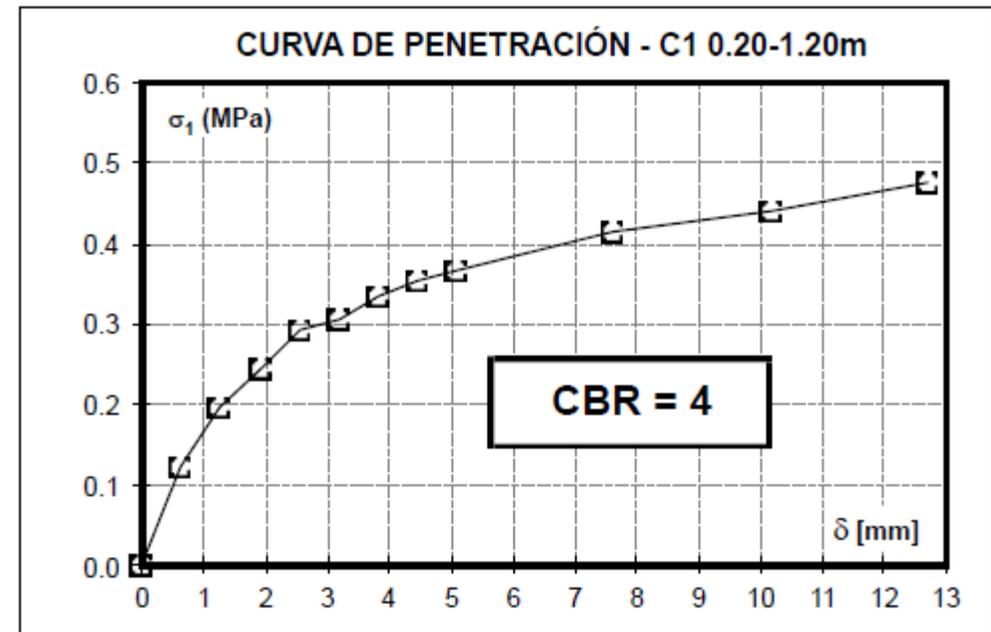
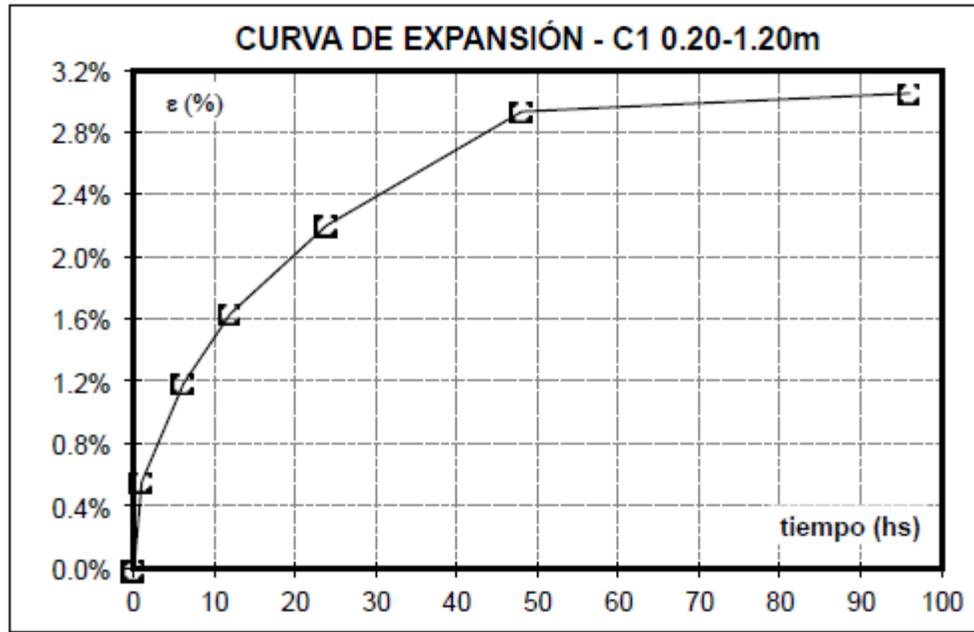
Se mide la expansión durante 96 h, bajo una sobrecarga de diseño.
Se efectúa un ensayo de penetración con pistón normalizado hasta alcanzar 12.7 mm de recorrido.



Preparación muestra



Ensayo (ASTM D1883)

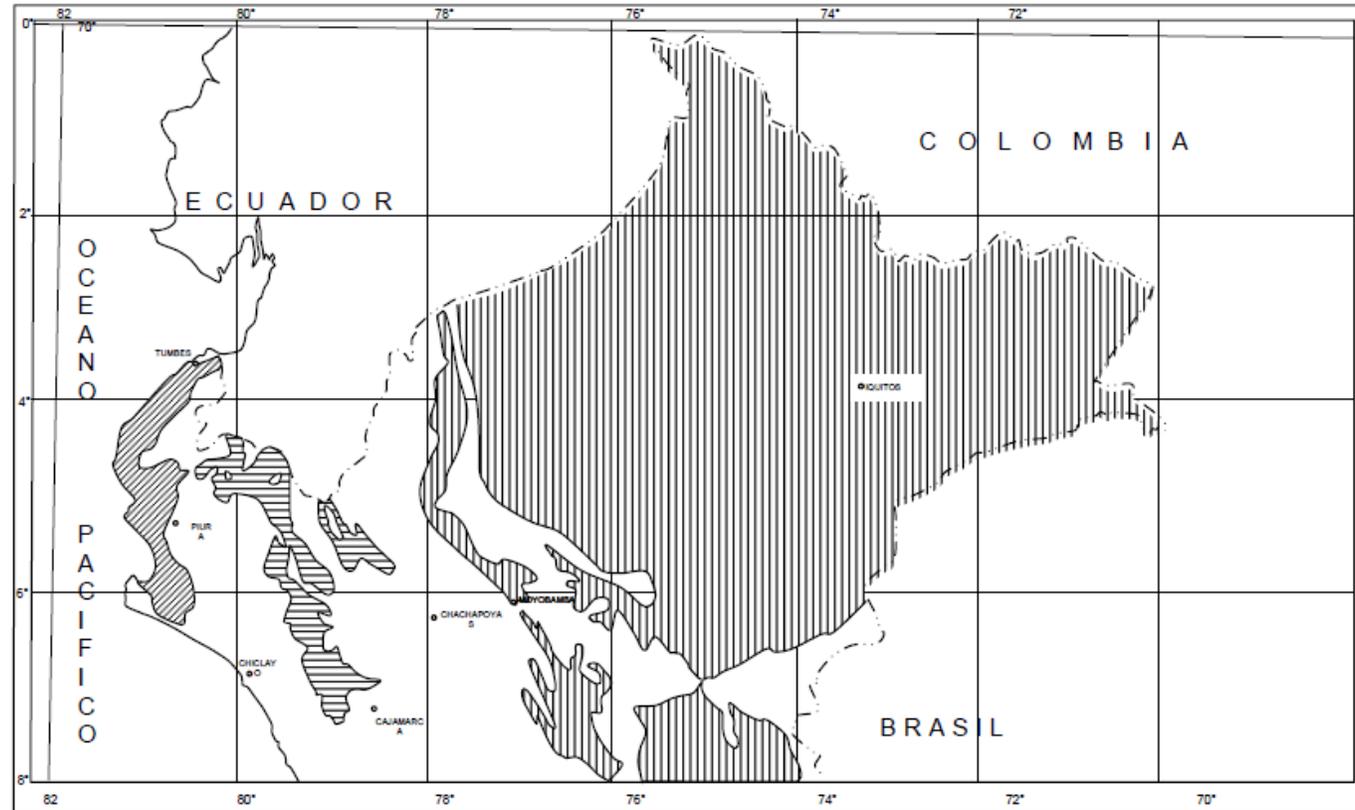


$$CBR = \left(\frac{\sigma_{2.54mm}}{6.9MPa} \right) \cdot 100$$

$$CBR = \left(\frac{\sigma_{5.08mm}}{10.3MPa} \right) \cdot 100$$

Generalmente se informa el valor CBR para 2.54mm de penetración

Ocurrencia de Suelos Expansivos



LEYENDA

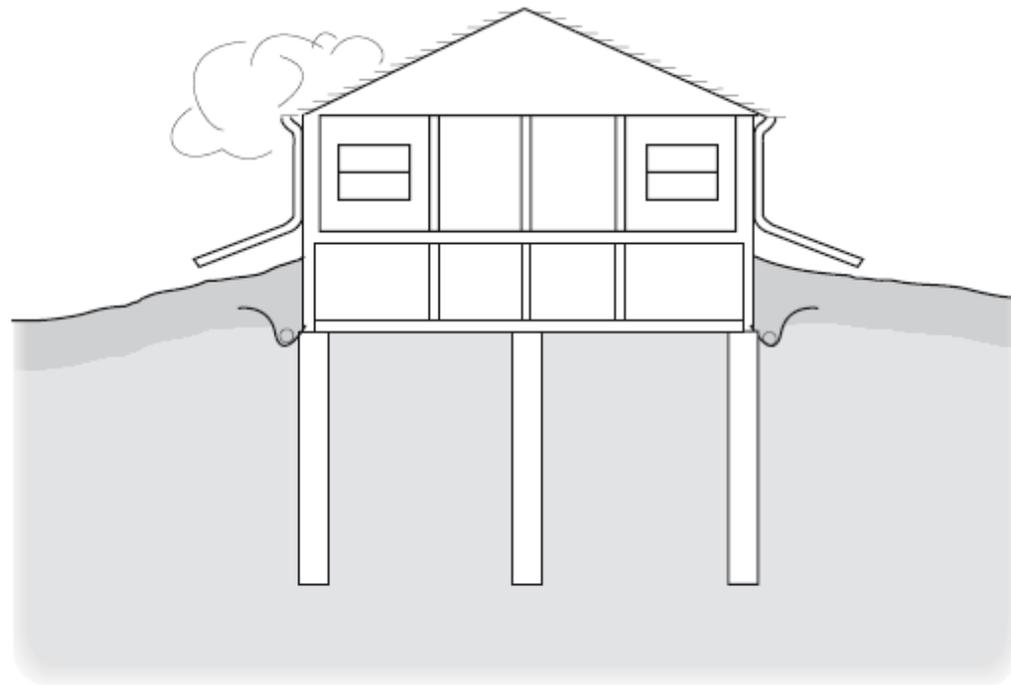
-  ZONA DE CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y CLIMATICAS BFAVORABLES A LA PRESENCIA DE SUELOS EXPANSIVOS. SE HA COMPROBADO SU EXISTENCIA EN ESTA ZONA
-  ZONA DE CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y CLIMATICAS QUE HACEN POSIBLE LA OCURRENCIA DE SUELOS EXPANSIVOS EN DETERMINADOS LUGARES. SE HA COMPROBADO SU EXISTENCIA EN EL ECUADOR
-  ZONA CON GEOLOGIA FAVORABLE Y CLIMA DESFAVORABLE PARA LA OCURRENCIA DE SUELOS EXPANSIVOS SE NECESITA MAYOR INFORMACION

Mapa de suelos expansivos en la región Norte y Nororiente del Perú
(Rojas y Alva, 1988)

Medidas preventivas de diseño y construcción

Drenaje superficial: aunque un buen drenaje superficial es importante en todos los sitios de construcción, es especialmente crítico donde hay suelos expansivos. La superficie del terreno debe inclinarse lejos de la estructura. Las áreas desnudas o pavimentadas deben tener una pendiente de al menos 2% y el suelo con vegetación debe tener al menos 5%.

Si es posible, incline el suelo a menos de 3 m (10 pies) de la estructura con una pendiente del 10%. También es importante instalar canaletas u otros medios para recoger el agua de lluvia del techo y descargarla lejos de los cimientos.



Medidas preventivas de diseño y construcción

Rellenos de sótano: Si la estructura tiene un sótano, el relleno debe consistir en suelos no expansivos.

Un relleno bien compactado es menos permeable.

Instale una tubería de drenaje en la parte inferior del relleno para capturar el agua que pueda entrar y llevarla al exterior con una bomba de sumidero.

Evite colocar plantas y sistemas de riego inmediatamente adyacentes a la estructura.

Evite colocar tuberías de riego cerca de la estructura (para evitar problemas por fugas).

Dirija todos los rociadores lejos de la estructura.

Medidas preventivas de diseño y construcción

Servicios públicos subterráneos: Las líneas de servicios públicos a menudo se distorsionan debido a hinchazón de suelos expansivos. Con tuberías de agua, alcantarillado o desagües pluviales, estas distorsiones pueden crear fugas que a su vez provocan una mayor expansión. Es probable que esta progresión ocurra donde las tuberías ingresan al edificio y podrían causar grandes sacudidas y daños estructurales graves. El riesgo de este problema potencial se puede reducir mediante:

- Usar materiales de tubería flexibles (es decir, PVC o ABS en lugar de tubería de arcilla o concreto).
- Instalar la tubería de manera que no se desarrollen grandes esfuerzos cortantes o de flexión. En algunos casos, esto puede requerir el uso de juntas flexibles.

Medidas preventivas de diseño y construcción

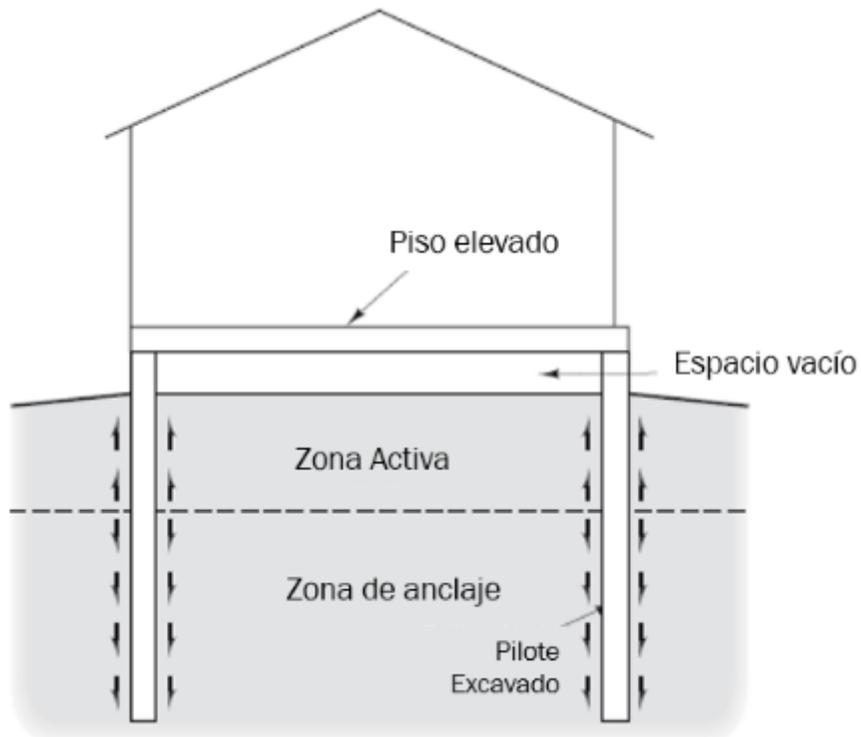
Más allá de esas medidas básicas, también es posible incorporar medidas más complejas.

O'Neill y Poormoayed (1980) los dividieron en tres categorías básicas:

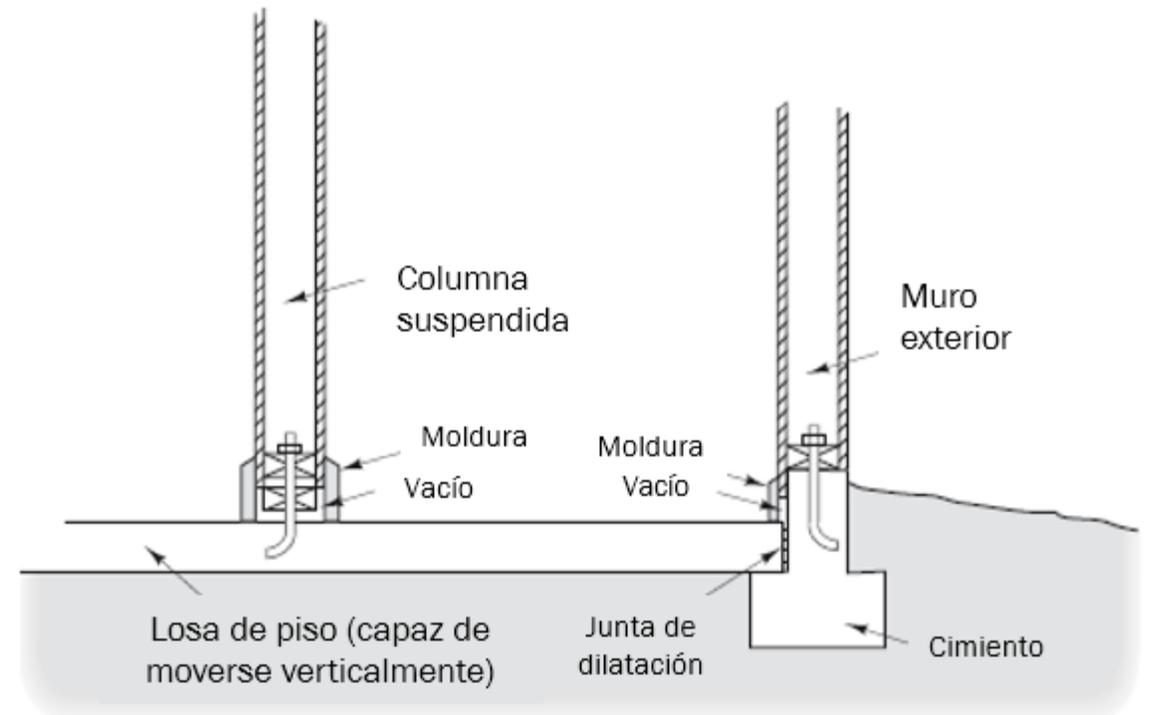
- Utilice técnicas de modificación del suelo para alterar la arcilla expansiva para reducir o eliminar su potencial de expansión.
 - Reemplazo.
 - Tratamiento con cal o cemento.
 - Pre humedecimiento.
 - Barreras de humedad.

Medidas preventivas de diseño y construcción

- Evite la arcilla expansiva aislando la base.
 - Cimentaciones más profundas.
 - Pilotes perforados.
 - Pisos con soporte estructural.



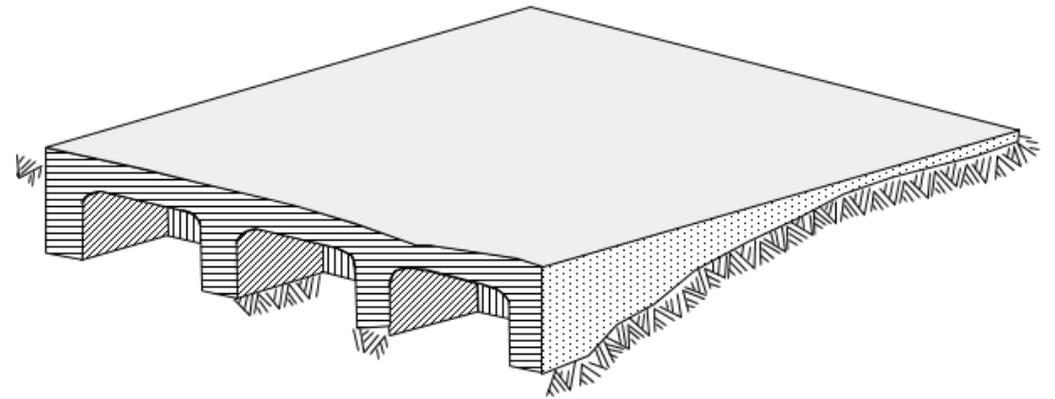
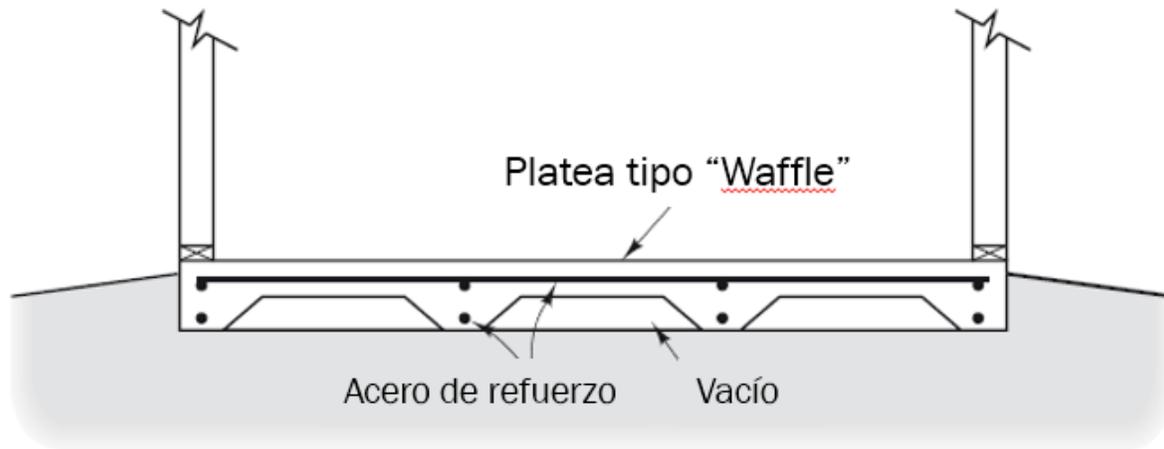
Pilotes perforados



Pisos flotantes

Medidas preventivas de diseño y construcción

- Mitigar los movimientos en la superestructura.
 - Construcciones flexibles.
 - Cimientos rígidos.



Plataforma de cimentación reforzada (tipo "Waffle")

¿qué método utilizar?

Levantamiento Total Estimado (mm)		Construcción Recomendada	Método	Observaciones
L/H = 1.25	L/H = 2.50			
< 6	< 12			No necesita tomar precauciones
6 - 12	12 - 50	Mejorar tolerancia del edificio a los asentamientos	Cimientos: Aislados, plateas o "waffle"	<ul style="list-style-type: none"> • Cimientos deben ser estrechos y profundos, consistente con la capacidad de carga. • Las losas deben diseñarse para resistir la flexión y deben ser independientes de las vigas de conexión. • Las paredes sobre la losa deben ser tan flexibles como la losa. Sin conexiones rígidas verticalmente. Refuerce la mampostería con tirantes o bandas.
12 - 50	50 - 100	Edificio que amortigüe el movimiento	Articulaciones: libres, flexibles	Deben evitarse los contactos entre unidades estructurales o un Se puede insertar material impermeable en la junta.
			Paredes: Estructura flexible, monolítica y estructura de acero	Las paredes o las unidades de construcción rectangulares deben levantarse como una unidad.
			Cimentaciones: Tres puntos, celular o jack	Los cimientos celulares permiten una ligera expansión del suelo para reducir la presión de hinchamiento. La carga de tres puntos permite el movimiento sin coacción.

¿qué método utilizar?

Levantamiento Total Estimado (mm)		Construcción Recomendada	Método	Observaciones
L/H = 1.25	L/H = 2.50			
>50	>100	Edificio independiente a la expansión	Cimientos: Pilotes excavados	Utilice pilotes de menor diámetro y con la mayor separación compatible con la capacidad de carga. Deje espacio libre debajo de las vigas de nivel
			Pisos flotantes	Eleve los pisos entre 300–450 mm por encima del suelo.

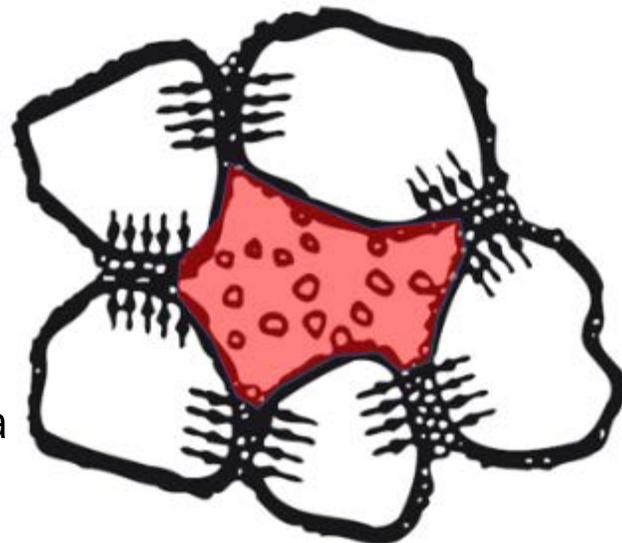
SUELOS COLAPSABLES

La mayoría de los suelos colapsables consisten predominantemente en partículas del tamaño de arena y limo dispuestas en una estructura suelta en forma de panal. A veces también hay grava.

Esta estructura suelta se mantiene unida por pequeñas cantidades de agentes cementantes que se ablandan con el agua, como arcilla o carbonato de calcio (Barden et al., 1973).

Mientras el suelo permanezca seco, estos cementos producen un suelo fuerte que puede soportar grandes cargas. Sin embargo, si el suelo se moja, estos agentes cementantes se ablandan y la estructura alveolar colapsa.

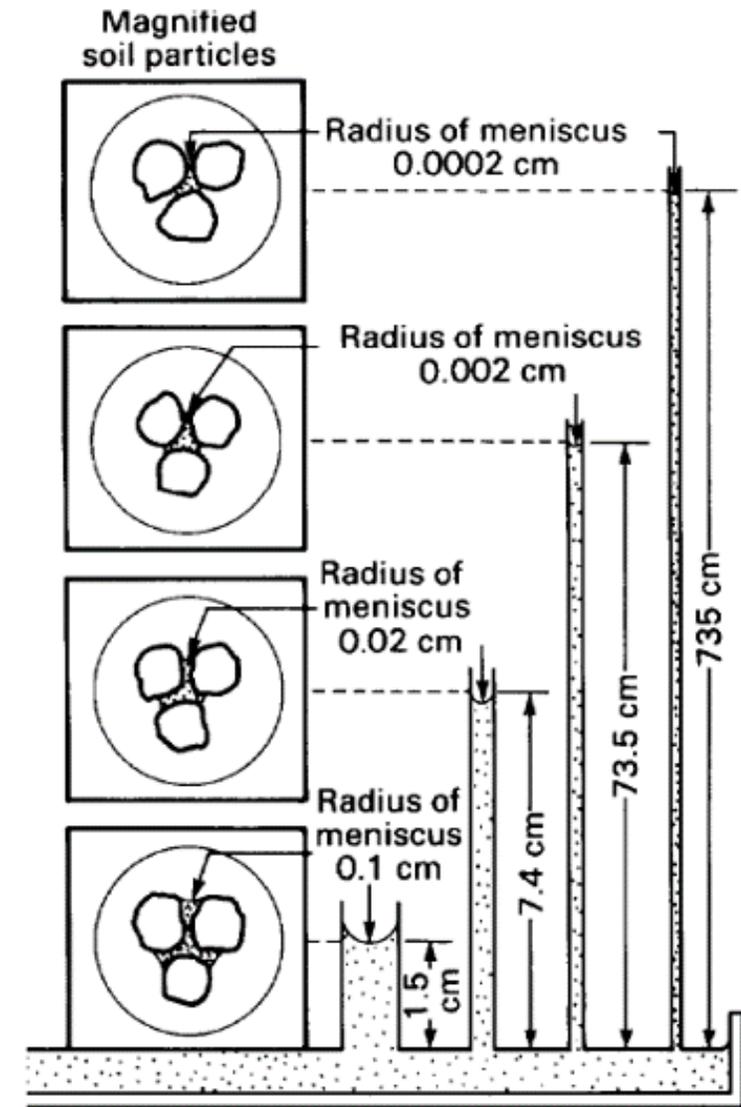
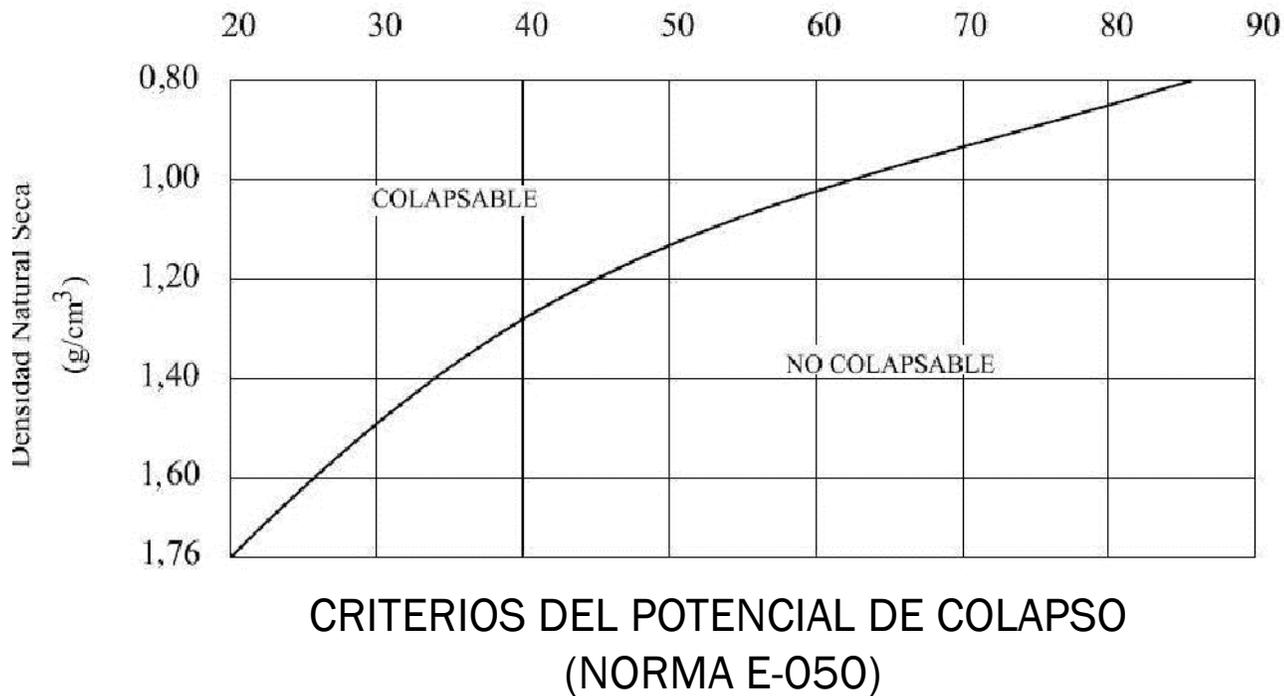
Estructura de suelo cargada antes de una inundación



Estructura de suelo cargada después de una inundación

Identificación, Pruebas y Evaluación de Suelos Colapsables

- Baja plasticidad (poca actividad electroquímica)
- Bajo grado de saturación (hay tensión capilar)
- Muy bajo peso unitario seco (alta relación de vacíos)



Ensayo en laboratorio:

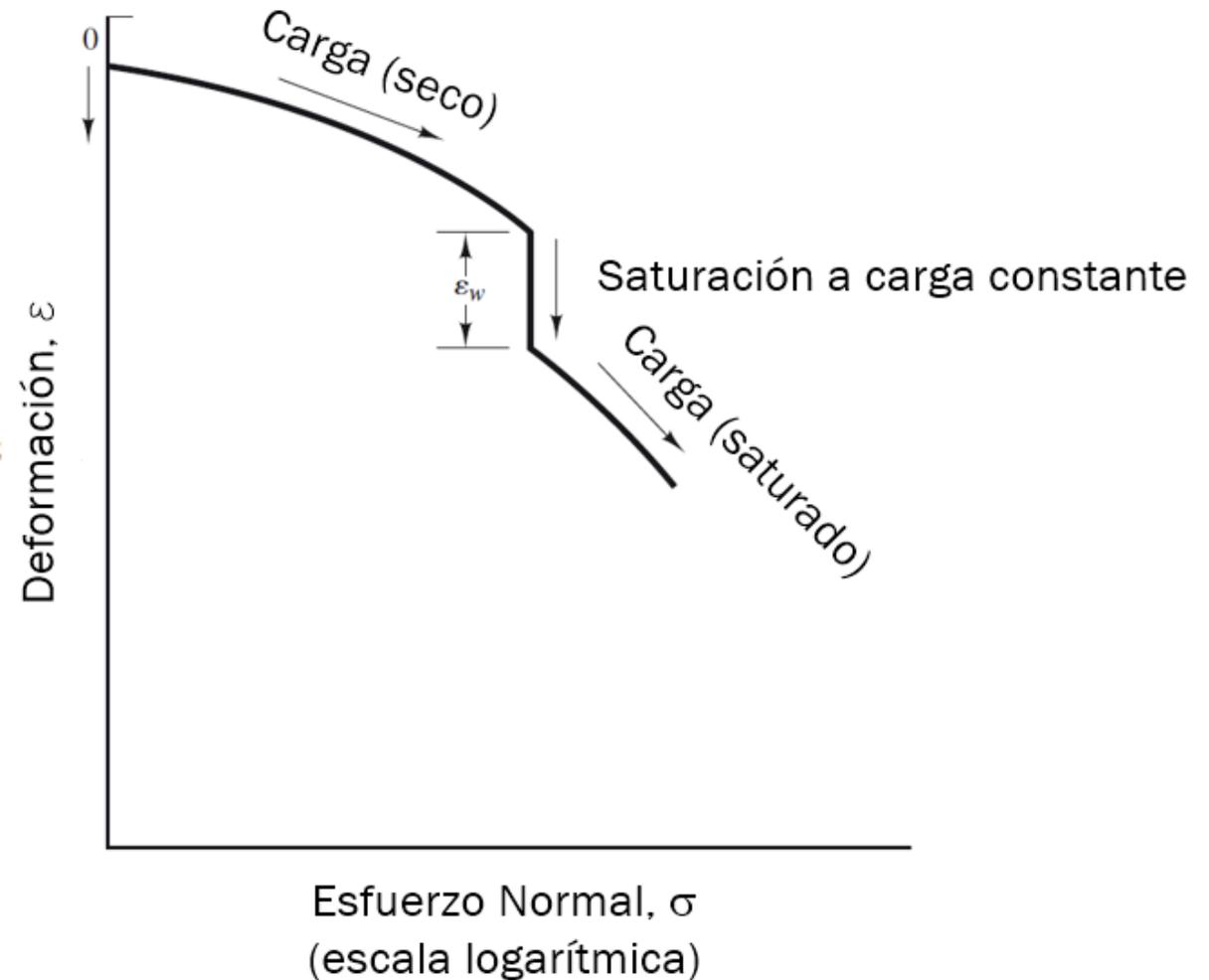
ASTM D5333

Se carga progresivamente en su contenido de humedad in situ hasta alcanzar un esfuerzo normal especificado.

Después la muestra se satura y se mide la deformación adicional, si la hubiera, debida a la saturación.

Esta deformación es el potencial de colapso, I_c .

Si la muestra se humedece a una esfuerzo normal estándar de 200 kPa (4000 lb/pie²), entonces la deformación es el índice de colapso, I_e .



Resultados típicos de una prueba de colapso usando el método de un edómetro (basado en Houston et al., 1988).

**Clasificación de la Colapsabilidad de los Suelos
(Adaptado de ASTM D5333)**

Indice de Colapso, I_c	Potencial de Colapso
0	Ninguno
0.001 – 0.02	Ligero
0.021 – 0.060	Moderado
0.061 – 0.10	Moderadamente Severo
> 0.10	Severo

Ensayo en campo:



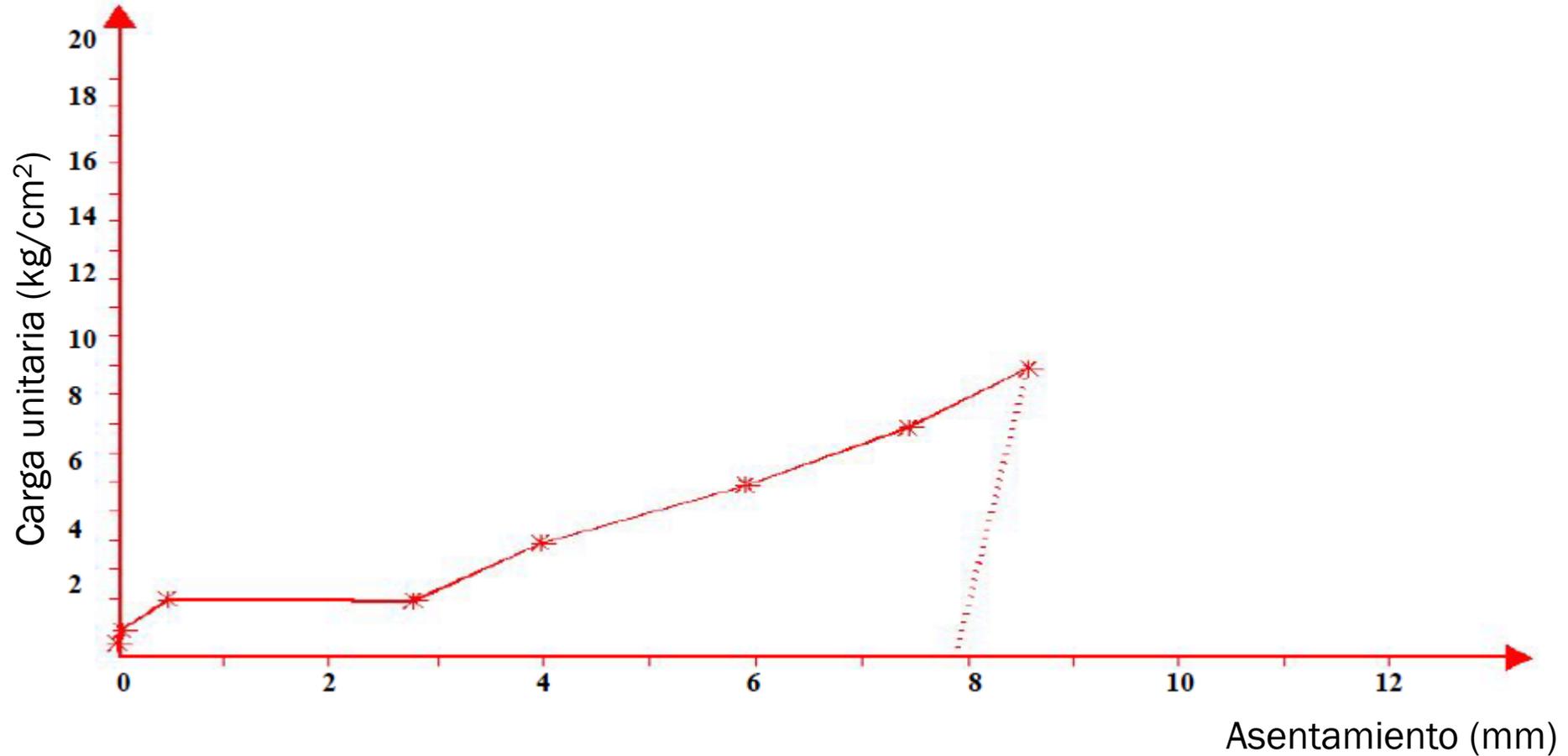
**EVALUACIÓN DEL COLAPSO IN-SITU CON PRUEBA DE CARGA SATURADA
ANTONIA MORENO DE CACERES
(Alva, 1989)**

ENSAYO ESTÁTICO DE CARGA DIRECTA

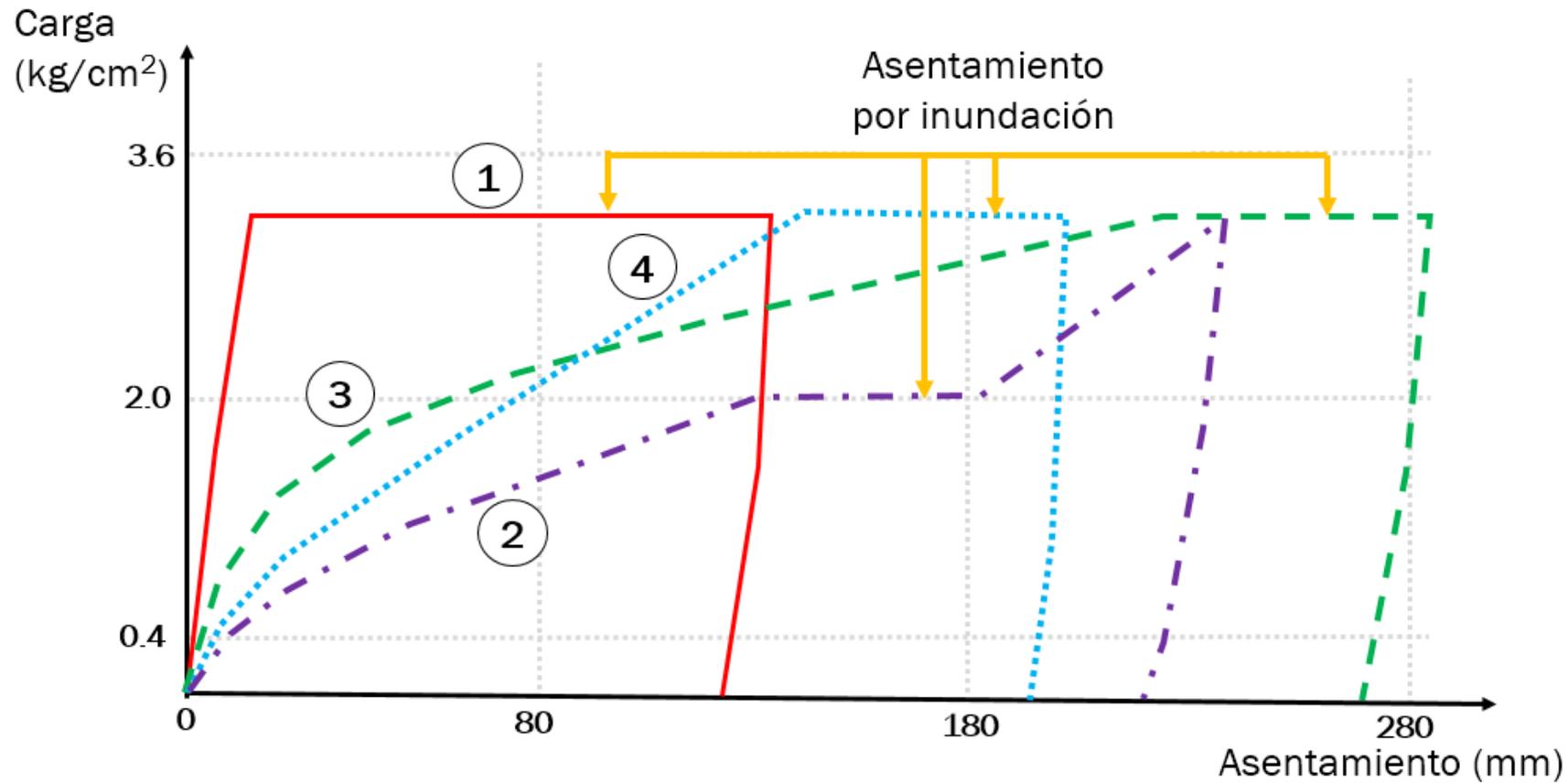
UBICACIÓN: ANTONIA MORENO DE CÁCERES. LUGAR : C.E.I. N° 7

DIÁMETRO PLACA : 30 cm, ÁREA PLACA : 707 cm², PROFUNDIDAD : 1.15 m

FECHA : 18-08-89



(Alva, 1989)



Ensayo 1:

- Carga
- Inundación

Ensayo 2, 3 y 4:

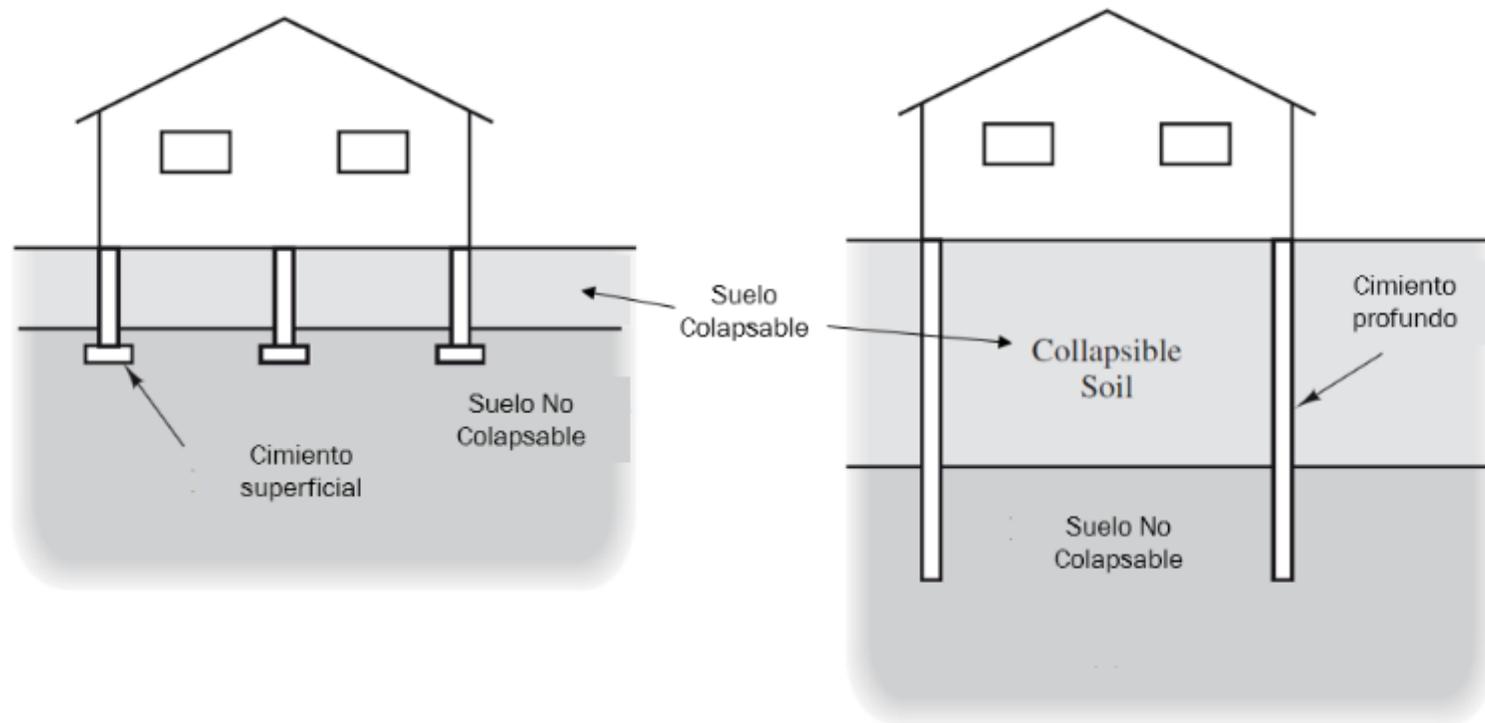
- Inundación
- Carga
- Inundación

Se observan los colapsos

Resultados típicos de una prueba de colapso en campo

Medidas preventivas de diseño y construcción

1. Eliminación del suelo colapsable
2. Evitar o minimizar la saturación del suelo
3. Transferencia de carga a través de los suelos colapsables a los suelos estables.



Medidas preventivas de diseño y construcción

4. Inyección de estabilizadores químicos o lechada
5. Pre humedecimiento
6. Compactación con rodillos
7. Compactación con pilotes de desplazamiento
8. Compactación Dinámica
9. Compactación Dinámica combinado con pre humedecimiento
10. Vibroflotación
11. Saturación controlada
12. Estructura de diseño tolerante a asentamientos diferenciales

Medidas preventivas de diseño y construcción

La selección del mejor método o métodos para usar en un sitio determinado depende de muchos factores, incluidos los siguientes:

- ¿A qué profundidad se extienden los suelos colapsables?
- ¿A qué profundidad se extendería la saturación si el suelo se mojara accidentalmente?
- ¿Cuánto asentamiento es probable que ocurra si el suelo se moja accidentalmente?
- ¿Qué parte del esfuerzo total se debe a los esfuerzos geoestáticos iniciales y qué parte se debe a cargas aplicadas?
- ¿El edificio u otra estructura ya está construido?
- ¿Ha ocurrido en el pasado algún humedecimiento artificial?



Expansive Soils

Recent advances in characterization and treatment

Edited by
Amer Ali Al-Rawas & Mattheus F.A. Goosen

F. H. CHEN

膨脹土

FOUNDATIONS ON EXPANSIVE SOILS

DEVELOPMENTS IN GEOTECHNICAL ENGINEERING VOL.12

壤之基

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONES DE
INVESTIGACIONES SISMICAS Y
MITIGACION DE DESASTRES

INFORME DE INVESTIGACION

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LA CIUDAD DE TALARA

Autora Ing. Dina Tang Montane
Supervisado por Dr. Jorge Alva Hurtado

FOUNDATION ENGINEERING FOR EXPANSIVE SOILS



JOHN D. NELSON | KUO CHIEH CHAO
DANIEL D. OVERTON | ERIK J. NELSON

WILEY

Sustainable Civil Infrastructures

Laureano R. Hoyos
John McCartney *Editors*

Advances in Characterization and Analysis of Expansive Soils and Rocks

Proceedings of the 1st GeoMEast
International Congress and Exhibition,
Egypt 2017 on Sustainable
Civil Infrastructures



 Springer

Sustainable Civil Infrastructures

John S. McCartney
Laureano R. Hoyos *Editors*

Recent Advancements on Expansive Soils

Proceedings of the 2nd GeoMEast
International Congress and Exhibition
on Sustainable Civil Infrastructures,
Egypt 2018 – The Official International
Congress of the Soil-Structure
Interaction Group in Egypt (SSIGE)



 Springer

UNIVERSITY OF WATERLOO LIBRARY
3 1187 02040183 0

EXPANSIVE SOILS

PROBLEMS AND PRACTICE IN
FOUNDATION AND PAVEMENT
ENGINEERING

JOHN D. NELSON
DEBORA J. MILLER

SO YOUR HOME IS BUILT ON EXPANSIVE SOILS

*A Discussion on How
Expansive Soils Affect Buildings*

Second Edition

Prepared by the Shallow Foundations Committee of the
Geo Institute of the American Society of Civil Engineers

Edited by

Warren K. Wray, Ph.D., P.E., D.GE., F.ASCE
Marshall B. Addison, Ph.D., P.E., M.ASCE
Kenneth M. Struzyk, P.E., M.ASCE



PUBLISHED BY THE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS