

I.- Identificación

Un Suelo Expansivo es un término generalmente empleado a cualquier suelo o material rocoso que tiene la capacidad de encogerse e hincharse bajo cambios en las condiciones de humedad.

La historia de los suelos expansivos comenzó hace millones de años en la eras del vulcanismo. La ceniza fue depositada en aguas poco profundas y formó una solidificación de arcilla rica en montmorilonita inestable, el principal mineral de las arcillas expansivas. También se debe a gran medida al proceso de edafización a lo largo del tiempo.

Ahora bien, los principales problemas a los que nos enfrentamos con estos suelos son las deformaciones que son más grandes que las deformaciones elásticas y éstas no pueden ser previstas por la elasticidad clásica o por la teoría de la plasticidad. Los movimientos provocados por los mismos tienen comúnmente un patrón irregular como para causar grandes daños a las estructuras y pavimentos que se apoyan sobre estos.

La mayor parte de los asentamientos humanos se encuentra sobre suelos expansivos, sin embargo, los suelos expansivos no causan problemas a menos que las estructuras que se construyen sobre ellos sean diseñadas inadecuadamente. En general, los suelos expansivos afectan principalmente a las cimentaciones, así como también a diferentes partes de la estructura provocando que la cimentación esté sometida a sollicitaciones ajenas al diseño.

Estos daños los podemos observar a través de la aparición de grietas significativas muy a menudo en las esquinas de las ventanas y puertas, en los muros, en las losas de las cocheras inclusive pisos del interior de las casas, en las banquetas, y en las avenidas.

Por lo tanto, los principales factores que deben ser identificados en la caracterización de un sitio para una obra de ingeniería son:

- Las propiedades de expansión o la expansión-contracción del suelo.
- Las condiciones ambientales y humanas que contribuyen a los cambios de humedad del suelo.

I.A Zona Activa

En las obras de ingeniería es indispensable el conocimiento de la zona activa, cuando se desea construir en un sitio que revele la presencia de arcillas expansivas.

Resulta sencillo identificar en campo la existencia de estos suelos, pues en tiempo de estiaje se observan con mucha claridad las grietas provocadas por la desecación. Los problemas de los suelos expansivos se generan como resultado del cambio de la humedad en los primeros metros de la capa superficial.

En el terreno virgen, deben investigarse las variaciones de humedad con la relación de la profundidad y respecto a las diferentes temporadas de año, además del reconocimiento directo de la estratigrafía e las manifestaciones que en sistemas de grietas se generan por la influencia de los ciclos estacionales.

Es necesaria la identificación de la profundidad hasta la cual se tiene una influencia significativa de los periodos estacionales, sin ignorar los efectos posibles a causa del ascenso y descenso del nivel de aguas freáticas, sobre todo cuando este no es muy profundo. Así, lo que se determina es la capa de suelo sujeta a cambios de humedad que puedan ser significativos a cambios de volumen, en expansiones y contracciones, en tiempo de lluvia y en temporada de estiaje respectivamente.

De forma convencional, puede aceptarse que la profundidad de la zona activa corresponda aquella a la cual se tiene una variación de la humedad tal que resulte poco relevante respecto a los fines ingenieriles.

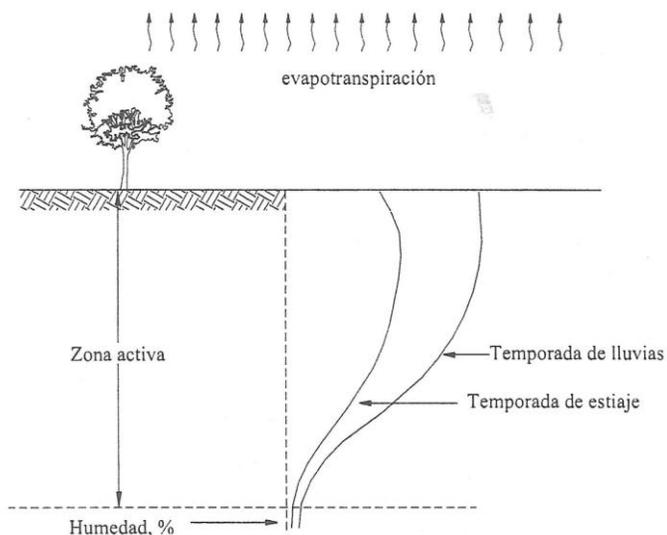


Ilustración I. 1 Perfiles de Humedad que definen la zona activa del terreno virgen.

I.B Factores de influencia en su comportamiento

El mecanismo de expansión y reducción de arcillas expansivas es complejo además de que está influenciado por un sin número de factores. La expansión es un resultado de los cambios en el sistema de agua del suelo que alteran el equilibrio interno de esfuerzo. Las partículas de arcilla generalmente

son placas con carga eléctrica negativa sobre su superficie y carga positiva en el eje. Las cargas negativas se encuentran en balance por cationes del agua del suelo, que llegan a ser atraídas a las superficies de las placas por las fuerzas eléctricas. El campo de fuerzas interparticulares eléctricas es una función de ambas, la carga negativa de la superficie y la electroquímica del agua del suelo.

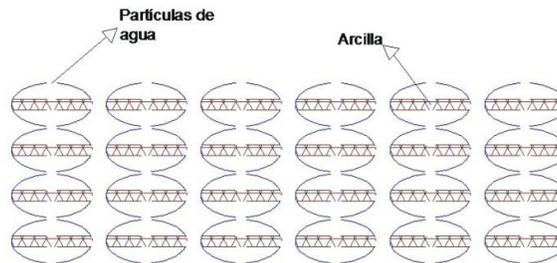
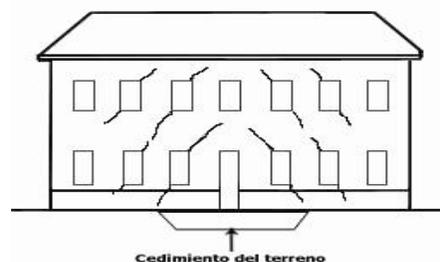


Ilustración 1.2. Las fuerzas electrostáticas provocan que el agua quede adherida a las moléculas de arcillas y aumente su volumen.

El sistema de fuerzas electroquímicas internas debe estar en equilibrio con el esfuerzo aplicado externo y con la tensión capilar en el agua del suelo. La tensión capilar es a menudo llamada matriz de succión. Si la química del agua del suelo está siendo afectada, ya sea por un cambio en la cantidad de agua o por la composición química, el campo cambiará también. Si el resultado del cambio en las fuerzas internas no está balanceado, entonces los espacios entre las partículas se modificarán con el fin de ajustar las fuerzas interparticulares hasta que el equilibrio sea alcanzado. Este cambio en los espacios de las partículas se manifiesta así mismo como expansión o contracción del suelo.

Algunos factores que influyen en el mecanismo de expansión también afectan, o son afectados por las propiedades físicas del suelo tales como la plasticidad o peso específico. Los factores que influyen en el potencial de expansión-contracción los podemos agrupar en tres diferentes grupos, esto son:

- Las características del suelo que influyen básicamente en la naturaleza de las fuerzas del campo interno,
- Los factores del medio que influyen los cambios que pueden ocurrir en el sistema de la fuerza del campo interno, y
- El estado de esfuerzos.



Esquema 1. 2 Representación de daños debido al suelo. Grietas en esquinas de ventanas.

I.B.1 De acuerdo a las características del suelo

I.B.1.1 Microescala

Estos factores como ya se había mencionado, están basados en su mineralogía y propiedades químicas del suelo. A continuación se describirán con más detenimiento para proporcionar un amplio panorama acerca de los factores de microescala.

Los minerales constituyentes de las arcillas son de diferentes tipos y por lo tanto exhiben diferente desempeño del potencial de expansión porque la variación en el campo eléctrico asociado a cada mineral es diferente. Por lo tanto, la capacidad de expansión de una masa entera de suelo recae esencialmente en la cantidad y tipo de minerales que componen al suelo, en la disposición y área específica de la superficie de las partículas, y la química del agua del suelo que rodean a dichas partículas.

La mayoría de los minerales de las arcillas tienen una disposición ordenada de los átomos que las forman, que es característica propia de los cristales enrejados quienes forman una especie de red. La red de cristal es regularmente mostrada en tres dimensiones como la disposición de átomos o iones de un cristal. Una importante característica de los minerales de las arcillas es el tamaño pequeño de los cristales. Típicamente el grosor puede ser tan pequeño como 15 \AA ($1.5 \times 10^{-9} \text{ m}$) y dimensiones laterales que están en el orden de micrones por lo que hace que la visualización de estos minerales por medio de microscopios comunes sea imposible. Para esto se recurre a el uso de difracción de rayos X y así como de también la utilización de microscopios electrónicos para su identificación.

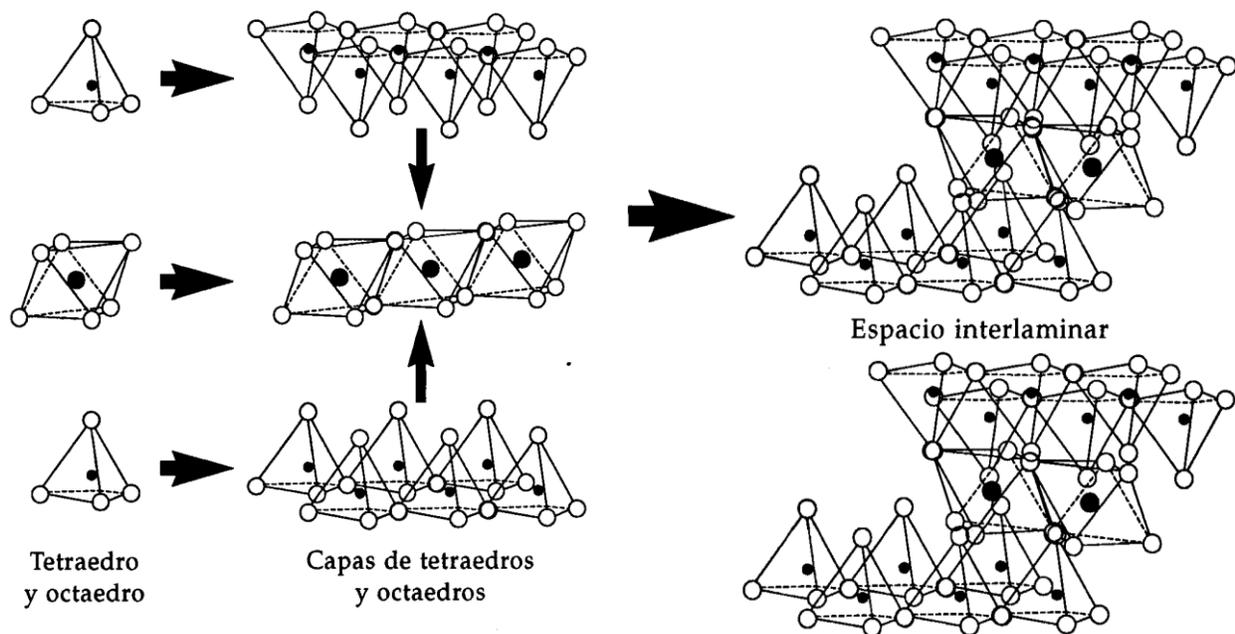
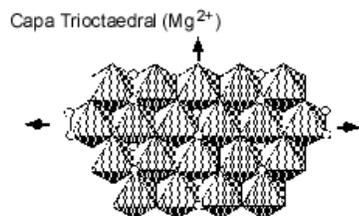
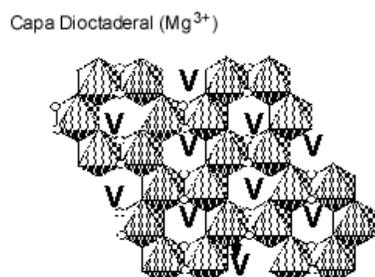


Ilustración I.3. Formación del Filossilicato; estructura de las arcillas. Garrison , 198



- Sin espacios vacios
1. Más superficie de absorción
 2. Sin absorción de agua o/y nutrientes
 3. Dipolar (+) y (-)



- V = Espacios Vacios
1. Menos superficie de absorción
 2. Más absorción para agua y nutrientes
 3. Polar (-)

Ilustración I.4. Estructura del filossilicato. Trioctaedral vs Dioctaedral. Garrison , 1989

Tablal.1

CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS

GRUPO DE ARCILLAS	FORMACIÓN Mg^{2+} / Al^{3+}	FORMACIÓN Si^{4+} / Al^{3+}	CATIONES INTERLAMINARES
Grupo Caolín (Caolinita, Nacrita, Anauxita, etc.)	TRIOCTAEDRAL	1:1 Si - Al (Isoelectricas)	Alta en magnesio Bajo en potasio
Grupo Zeolitas (Clinoptilolitas, Aragonitas, etc.)	TECTOSILICATOS / DIOCTAEDRAL	1:2 Si - Al - Al (Polar, Expandible)	Alto en calcio y/o sodio
Grupo Montmorillonitas (Esméctica, Bentonitas, Beidelita, etc.)	DIOCTAEDRAL	2:1 Si - Al - Si (Polar, Expandible)	Alto en calcio y/o sodio
Grupo Micas – Hidratadas (Sepiolitas, Vermiculitas, Atapulguita)	DIOCTAEDRAL Y/O TRIOCTAEDRAL	2:1 Si - Al - Si (Polar y/o Dipolares) (Expandible)	Alto en potasio Bajo en magnesio
Grupo Micas– No Hidratadas (Illitas, Cloritas)	TRIOCTAEDRAL	2:1:1 Si - Al - Si - Al (Dipolares, No expandible)	Alto en magnesio Bajo en potasio

Garrison , 1989

Los Rayos X se difractan a través de una muestra de arcilla y cada trayectoria de difracción es una imagen de distintos planos atómicos; el conjunto de trayectorias “retrata” la estructura interna de la arcilla. Así se revela un promedio de 2×10^7 láminas reticulares por centímetro de material. Este método puede ser más informativo en general, pero a causa del pequeño tamaño de los cristales y su orientación desordenada, las trayectorias de difracción se definen y distinguen muy difícilmente. Modernamente se han usado otros procedimientos, como por ejemplo, Resonancia Magnética Nuclear de Ángulo Mágico (RMN-AM), Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE), Infrarrojo (IR), Absorción Atómica (AA) que parecen ofrecer mayores posibilidades en la indagación de la mineralogía de las arcillas.

El microscopio electrónico permite distinguir ciertos minerales de forma muy típica, tales como la haloisita (del grupo de las caolinitas y de forma tubular muy notable), pero sus resultados plantean problemas de interpretación de las formas de escama, de las que participan gran número de minerales de arcilla (montmorilonitas e ilitas).

El efecto de altas temperaturas sobre una arcilla es extraer agua de sus retículas laminares, transformando un mineral de arcilla en otro compuesto químico. Los demás minerales de la arcilla presentan efectos típicos, como en el ejemplo siguiente, al ser altamente calentados; estos efectos permiten su identificación. La caolinita, por ejemplo, permite la remoción de su agua estructural a partir de 500°C y el mineral puede transformarse en óxido de aluminio amorfo y sílice.

Diferentes minerales también pueden ser identificados por medio de análisis químicos para cubrir las finalidades mencionadas. Sin embargo, se ha encontrado que existen relaciones de grupos de acuerdo a sus propiedades, y estos son tres:

Tabla 1.2 Grupos importantes en su estructura de los minerales de las arcillas

Grupo de las Caolinitas	Generalmente no expansivas.
Grupo de las Micas	Incluyen ilitas y vermiculitas, las cuales pueden ser expansivas, pero generalmente no plantea problemas significantes.
Grupo de Esmectita	Incluyen montmorilonitas, las cuales son altamente expansivas y tienen los más molestos minerales de las arcillas

Nelson y Miller, 1992

Los tres grupos que se presentan en la tabla 1 tienen estructura cristalina de capas. La distinción mineralógica está basada en la disposición de las diferentes capas y la manera por las cuales las unidades estructurales individuales están unidas. Con ayuda de la Difracción de Rayos X, provee una medida de las características del espaciamiento basal, el cual describe el espesor y el espaciamiento de las capas individuales unidas. En la siguiente tabla se muestra las propiedades de los minerales más importantes que componen a las arcillas.

Tabla 1. 3 Características de algunos minerales de las arcillas

Grupo Mineral	Espaciamiento Basal (Å)	Características de Partícula	Fuerzas Interparticulares	Área Específica (m ² /g)	Límites de Atterberg			Actividad	
					Li %	Lp %	SL %	Ip/ %arcillas	%arcillas
Caolinitas	14.4	Gruesa, rígida, cara de 6 lados 0.1 a 4 x 0.05 a 2 μm	Fuertes enlaces de hidrógeno	10-20	30-100	25-40	25-29	0.38	
ilitas	10	Delgada, placas apiladas 0.003 a 0.1 x 1.0 a 10 μm	Fuertes enlaces de potasio	65-100	60-120	35-60	15-17	0.9	
Montmorilonitas	9.6	Delgada, escamosa >10Åx1.0 a 10 μm	Fuerzas Van der Waals débiles	700-840	100-900	50-100	8.5-15	7.2	

SL: límite de contracción Nelson y Miller, 1992

La química del agua en el suelo es importante en relación a la magnitud del potencial de expansión. Cationes de sal, tales como sodio, calcio, magnesio, y potasio, son disueltos en el agua del suelo y son adsorbidas en las superficies de las arcillas como cationes intercambiables al balance de las cargas negativas de la superficie. La hidratación de estos cationes y fuerzas adsorbentes ejercidas por los cristales de las arcillas por sí mismas pueden causar la acumulación de grandes cantidades de agua entre las partículas de arcillas.

En suelos secos, los cationes de sal están manteniendo juntas a las superficies de los cristales de las arcillas por fuertes fuerzas electrostáticas. De esta manera, inicialmente desecado y densamente juntas, las superficies están forzadas a mantenerse juntas como cationes hidratados adsorbidos y llegan a ser dilatadas en la adición de agua. Cuando hay presencia de agua en exceso, los cationes adsorbidos ya no están sostenidos fuertemente por las superficies de la arcilla. Las fuerzas de atracción electrostática están concentradas por la tendencia de los iones a difundir hacia el volumen de la solución del diluyente fuera de la superficie de partícula.

La Ilustración I.5 muestra los distintos espesores que se obtienen con las distintas arcillas al intercalarse una o dos capas de agua en el espacio interlaminar:

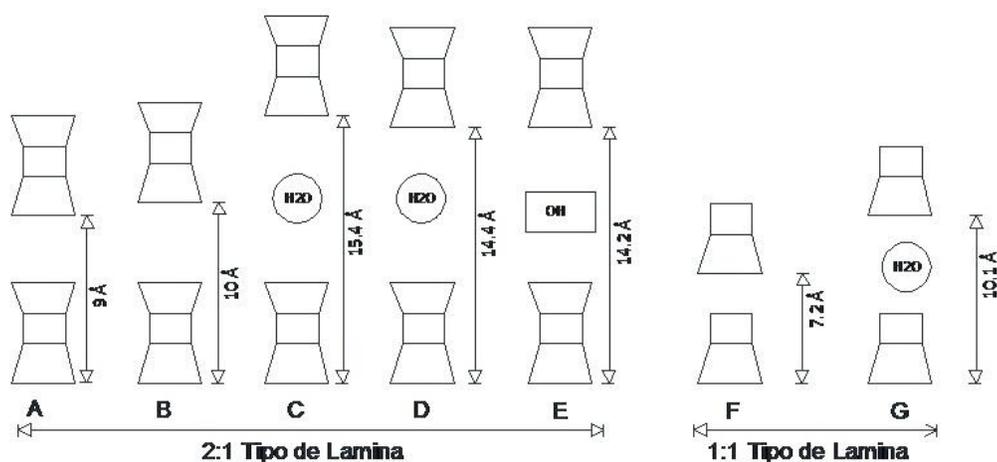


Ilustración I.5 Espesor de arcillas a) Pirofilita b) Mica c) Esmeclita d) Vermiculita e) Clorita f) Caolinita g) Haloisita

La atracción de las fuerzas electrostáticas contrarrestan los efectos de difusión a algún extremo resultando en una gran concentración de cationes cerca de la superficie de la partícula. La carga negativa de la superficie de partícula de arcilla y la concentración de iones positivos en la solución adyacente a la partícula forman lo que se denomina capa de doble difusión o DDL (*diffuse double layer*) (Bohn, 1985). Superponiendo DDL entre las partículas se generan fuerzas de repulsión, o “presiones de expansión” a microescala. La interacción de DDL y el potencial de expansión incrementan a medida que el grosor de la DDL incrementa. El espesor de la DDL está controlado por varias variables incluyendo la concentración y valencia de los cationes del agua en el suelo. En general, el espesor de la DDL y la gran expansión están asociados con bajas concentración de cationes y/o la presencia de

cationes con baja valencia. De esta manera, para la misma mineralogía del suelo, más expansión ocurriría en una muestra teniendo intercambio de cationes de sodio (Na^+) que en una muestra con cationes de calcio (Ca^{2+}) o magnesio (Mg^{2+}).

I.B..1.2 Macroescala

Los factores de macroescala son de cierta medida reflejo o resultado de los de microescala, es decir, de la naturaleza propia del suelo.

Comúnmente estos factores están determinados por dos propiedades índices (o físicas) del suelo: la plasticidad y el peso volumétrico. Por ejemplo, la consistencia del suelo, que es medida por los límites de Atterberg, es un buen indicador de la posible expansión del suelo: son más susceptibles los suelos que están dentro del rango plástico con un amplio contenido de humedad. Generalmente este comportamiento se debe a los minerales que componen a las arcillas y a su arreglo estructural lo cual hace posible que el suelo pueda contener grandes cantidades de agua entre sus partículas. En general, estas propiedades pueden servir como detectores de un suelo con potencial de expansión (Nelson y Miller, 1992).

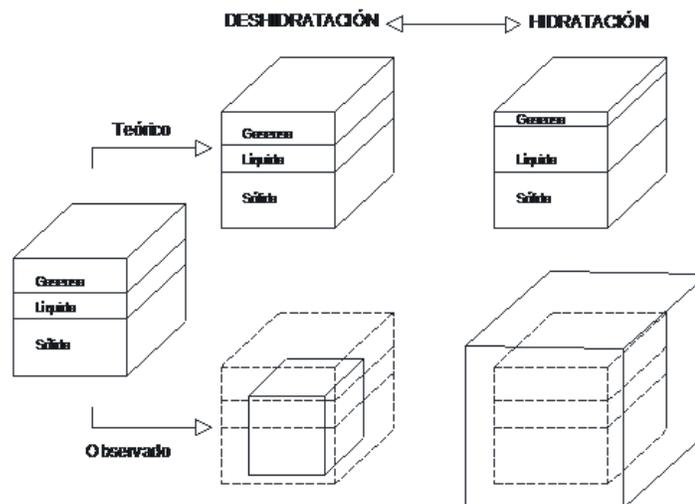


Ilustración I.6. Aspectos teóricos y de campo de la hidratación - deshidratación de suelos expansivos – contractivos. Como resultado de las propiedades químicas del suelo. (Coulombe, 1996)

En cuanto al peso volumétrico, éste al ser aumentado por medio de la compactación o como resultado de cargas previas sobre el suelo, puede provocar un aumento en la expansión.

Tabla I. 4

Propiedades del suelo que influyen en la expansión y contracción del suelo		
Factor	Descripción	Referencias
Minerales de las arcillas	Los minerales de las arcillas que generalmente son la causa de los cambios de volumen son las montmorilonitas, vermiculitas y algunas mezclas de capas de minerales. Las Illitas y caolinitas son con poca frecuencia expansivas, pero pueden causar cambios de volumen cuando el tamaño de las partículas es extremadamente fina (menor que unos pocas decimas de una micra)	Grim, 1968 Mitchell, 1973 Snethen, 1977
Química del agua del suelo	Una hinchazón del suelo es representada por un incremento de la concentración de cationes y un incremento en el balance de cationes. Por ejemplo, Mg^{2+} en el agua del suelo puede resultar menos expansivo que los cationes de Na^+	Mitchell, 1976
Succión del suelo	La succión del suelo es una variable independiente del esfuerzo efectivo, representado por la presión de poro negativa en un suelo no saturado. La succión del suelo está relacionada con la saturación, la gravedad, el tamaño y forma de los poros, la superficie de tensión, y con las características eléctricas y químicas de las partículas del suelo y del agua.	Snethen, 1980 Fredlund y Morgenstern, 1977
Plasticidad	En general, los suelos que presentan un perfil con un amplio contenido de humedad y un elevado límite líquido tienen una mayor potencialidad de expansión y contracción. La plasticidad es un indicador de la potencialidad de expansión.	Nelson y Miller, 1992
El arreglo y estructura del suelo	Las arcillas floculadas tienden a ser más expansivas que las arcillas dispersas. Las partículas cementantes disminuyen la expansión. El arreglo y estructura son alteradas por la compactación en altos contenidos de agua. Una compactación por amasamiento ha demostrado crear estructuras dispersas con baja potencialidad de expansión que suelos estáticamente compactados en bajos contenidos de agua.	Johson y Snethen, 1978
Peso volumétrico en estado seco	Los altos pesos volumétricos generalmente indican espacios más estrechos entre las partículas lo que puede significar grandes fuerzas de repulsión entre las mismas y más potencialidad de expansión.	Chen, 1973 Komornik y David, 1969 Uppal, 1965

I.B.2 De acuerdo a las condiciones del entorno

Las condiciones del entorno, es decir, a las que está expuesto el suelo, pueden en gran medida contribuir a los cambios de contenido de humedad por lo que debe ser evaluado para medir el posible efecto en la aumento de volumen. Por ejemplo, la potencialidad de que el suelo pueda absorber o expulsar agua dependerá del contenido de la misma. Hay que mencionar que el contenido de humedad por sí sólo no es un buen indicador o pronosticador de la expansión y contracción de un suelo. En su lugar conociendo los límites de contenido de humedad tales como los límites plástico y el límite de contracción se puede saber si habrá o no expansión.

Las variaciones de la humedad en la zona activa de un perfil natural del suelo es afectado principalmente por ciclos climáticos. Las condiciones de humedad, por ejemplo, pueden variar drásticamente cuando se tiene una superficie libre y otra en la que se dispongan construcciones o infraestructura vial.

Otro ejemplo directo que causa la variación en la humedad resulta de la alteración del drenaje o por obras que aportan de manera indirecta agua al subsuelo, tales como la irrigación o debido a fugas en las tuberías. Estos últimos factores son difíciles de cuantificar pero pueden ser controlados por los medios posibles de acuerdo al caso. Por ejemplo, un sistema de drenaje apropiado y una atención a las áreas verdes son ideas sencillas para minimizar las fluctuaciones de humedad cerca de las construcciones.

La disponibilidad del agua en un suelo está influenciada por muchos factores que pueden ser tanto ambientales como humanos, estos factores están indicados en la tabla siguiente.

Tabla 1.5

Condiciones del entorno que influyen en la expansión y contracción de un suelo.		
Factores	Descripción	Referencias
Contenido de humedad inicial	Un suelo seco y con una succión elevada tendrá una mayor afinidad por el agua que el mismo suelo con un mayor contenido de humedad. A la inversa, un suelo cuyo perfil es húmedo perderá agua más rápidamente cuando esté expuesto a influencias que provoquen su secado y se encogerá más que uno cuyo estado inicial sea seco.	Nelson y Miller, 1992
Variaciones de humedad	Las variaciones en la humedad de la zona activa definen los cambios del suelo. En estas capas están presentes las variaciones más amplias en cuanto a cambios de humedad y volumen que pueden existir.	Johnson, 1969
Clima	La cantidad y variación de la precipitación así como de la evapotranspiración en gran medida influyen en la disponibilidad de la humedad y en la profundidad de la misma de acuerdo a la	Holland y Lawrence, 1980

Comportamiento de Cimentaciones en Suelos Expansivos

Méndez Salas

Pineda Núñez

	temporada del año, en donde, en climas semiáridos esto se refleja de mayor manera ya que tiene periodos más cortos de humedad.	
Agua subterráneas	Un nivel freático poco profundo provee una fuente de humedad y fluctuación de la zona activa.	Nelson y Miller, 1992
Drenaje y fuentes provocadas por el hombre	Los encharcamientos debido a un mal sistema de drenaje (bloqueo de rejillas de acceso al alcantarillado) provocan que el agua se infiltre al suelo. Otro ejemplo son las fugas que proveen al suelo de agua a mayores profundidades.	Krazaynski, 1980 Donaldson, 1974
Vegetación	Árboles, arbustos y pastos provocan una variación en la humedad del suelo a través de la transpiración y causan valores diferentes de la humedad a diferentes áreas de acuerdo a la variedad de la vegetación.	Buckley, 1974
Permeabilidad	Los suelos con altos niveles de permeabilidad, particularmente provocados por fisuras y grietas en la masa del suelo, permiten una rápida migración del agua y promueven una mayor tasa de expansión.	Wise y Hundson, 1971 De Brujin, 1965
Temperatura	Aumentos de temperatura causan la difusión de humedad hacia áreas más frescas debajo de los pavimentos y de las construcciones.	Johnson y Stroman, 1976 Hamilton, 1969
Condiciones de esfuerzo		
Esfuerzos históricos	Un suelo sobreconsolidado es más expansivo que el mismo suelo con la misma relación de vacíos, pero normalmente consolidado. Las presiones de expansión pueden aumentar sobre viejas arcillas compactadas, pero la cantidad de este incremento de volumen, bajo cargas ligeras no es representativo a pesar de la edad de las mismas. Repetidos cambios de humedad y secado tienden a reducir la expansión en muestras de laboratorio, pero después de un cierto número de ciclos de expansión-contracción el aumento de volumen ya no es afectado.	Mitchell, 1976 Kassiff y Baker, 1971
Condiciones en sitio	Los estados de esfuerzo iniciales en un suelo deben ser calculados para estimar las posibles consecuencias si se volviese a cargar la masa del suelo o si sufriera cambios de humedad. Los esfuerzos efectivos iniciales pueden ser determinados aproximadamente a través de muestreos y pruebas en laboratorio o mediante mediciones y observaciones realizadas en campo.	Nelson y Miller, 1992
Cargas	La magnitud del peso de la sobrecarga determina la cantidad de cambio del volumen que ocurrirá para un determinado contenido de humedad y con cierto peso volumétrico. Una	Holtz, 1959

carga aplicada externamente actúa para balancear las fuerzas entre partículas y reduce la expansión, sin embargo una carga excesiva puede causar asentamientos excesivos de la estructura.

El espesor y la localización de las capas potencialmente expansivas del perfil influyen considerablemente en los movimientos. Los más grandes movimientos ocurrirán en perfiles que tiene grandes extensiones de arcillas que van desde la superficie a profundidades por debajo de la zona activa. Los menores movimientos aparecerán si el suelo expansivo esta sobrepuesto por un material no expansivo o sobre una cama de roca o un estrato duro a poca profundidad.

Holland y Lawrence, 1980
Mpdifique el tamaño

Perfil del suelo

I.B.3 Fatiga de Expansión

Una arcilla se somete a ciclos de expansión y contracción, es decir; que se le adiciona agua para que se expanda y después se deja secar hasta su contenido de agua inicial, para saturarse nuevamente, repitiéndose para un cierto número de ciclos, se ha observado que presenta signos de fatiga después de cada ciclo. Esto se puede presentar por los cambios estacionales debido a aumentos y disminución de humedad, lo cual, hace que la arcilla tienda a estabilizarse después de algunos años.

Experimentos en el laboratorio (Pérez y Castañón, 1999) han demostrado este tipo de comportamiento en suelos expansivos de Querétaro. Estos suelos se sometieron a ciclos de humedecimiento-secado en el consolidómetro bajo carga del sitio. La hipótesis principal es que las variaciones en los cambios de esfuerzo y de deformaciones van siendo menores a medida que el número de ciclos de humedecimiento-secado se incrementan, llegando a un equilibrio en un determinado tiempo.

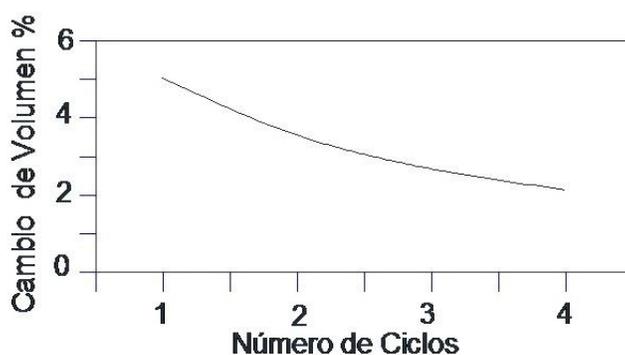


Gráfico 1.1. Resultados de los experimentos por Pérez y Castañón 1999

I.C Ubicación de los suelos expansivos

La ilustración I.6 indica que los suelos expansivos están confinados en regiones potencialmente semiáridas en zonas de clima tropical templado. Los suelos expansivos se presentan en abundancia

donde la evapotranspiración excede la precipitación. De lo anterior se tiene la teoría de que en las zonas semiáridas la escasa lixiviación ha ayudado en la formación de la montmorilonita.

Existen muchos países en el mundo que tienen el problema de suelos expansivos, por ejemplo: Sudáfrica, México, Estados Unidos, Venezuela, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Perú, Argentina, Brasil, Cuba, Angola, Mozambique, Kenia, Argelia, Marruecos, Ghana, Israel, Turquía, Irán, Irak, India, Australia, entre otros. En Europa, parece que el único que presenta este problema es España.



Ilustración I.7. Distribución de los Suelos Expansivos en el Mundo. (Modificado de G.W. Donaldson, 1969)

Potencialmente los suelos expansivos pueden encontrarse en casi cualquier lugar del mundo. En los países subdesarrollados, muchos de los problemas de suelos expansivos, no han sido reconocidos por lo que es de esperarse que se descubran más regiones de suelos expansivos con el aumento de la cantidad de construcciones cada año en dichos países.

Imagen I.1. Daños debido a las arcillas expansivas. África y Australia respectivamente. (Abajo)



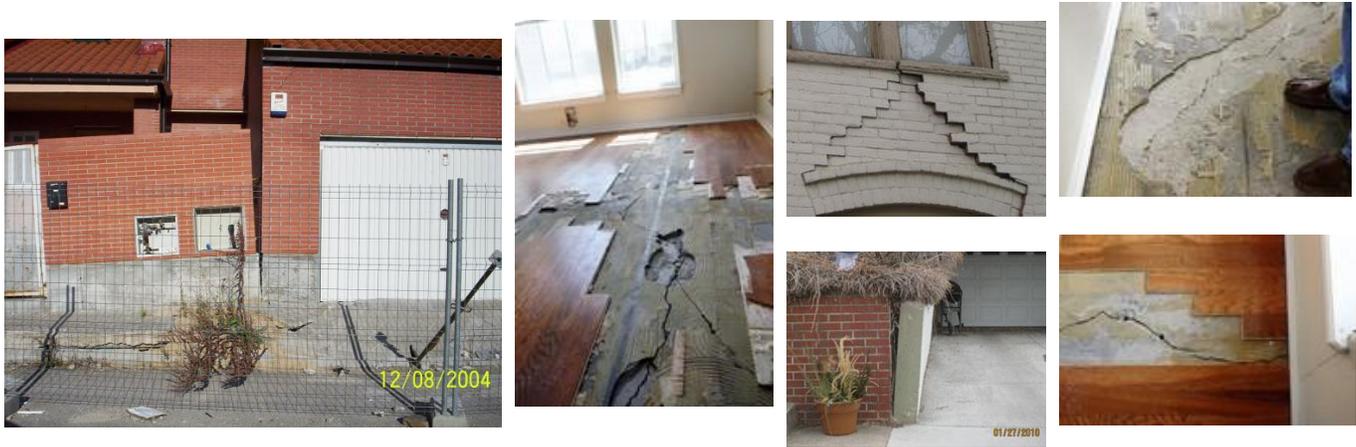


Imagen I.2. Daños debido a las arcillas expansivas. De izquierda a derecha: España, viviendas de EU, San Angelo Texas. Se puede apreciar daños en las losas y muros.

En México varias regiones de los estados de Baja California Norte, Campeche, Chiapas, Michoacán, Morelos, Tamaulipas, Sonora y Querétaro se han detectado suelos expansivos. Los suelos expansivos se presentan en regiones con arcillas donde ocurren variaciones significativas de humedad: en zonas como las monzónicas con estaciones muy diferentes, y en las zonas semidesérticas en las cuales se alternan temporadas de sequía con pequeños periodos de precipitación. En especial, los suelos expansivos se encuentran en las zonas semiáridas de las regiones del clima templado y tropical.



Imagen I.3. Daños debido a las arcillas expansivas. Morelos, México. Daños tales como levantamientos de losas y grietas en estructuras.

De acuerdo a la clasificación del sistema FAO-UNESCO, 1970, modificada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981) se utilizan las características morfológicas, físicas y químicas para separar los suelos en unidades que proporcionen información referente a su aplicación práctica con fines diversos. De acuerdo a la Edafología, los vertisols son el principal tipo de suelo expansivo. Los vertisols provienen desde el Holoceno al Pleistoceno, se han formado en material transportado de suelo viejo de otros sedimentos. Y se han desarrollado principalmente en sitios planos o de pendientes suaves, por lo general planicies y fondos de valles.

Por lo general, las características de los vertisols presentan los siguientes valores:

Tabla I.6

	Rangos	
Contenido de arcilla (%)	Uniforme- >35	>80%
Color	Obscuro	
Textura	Uniforme	Fina a muy fina
Compuesto mineralógico (mayor)	Montmorilonita	
Clima de Localización	Áridas	Semiáridas
Peso Específico (Ton/m ³)	1.76	2.08
Contenido Materia Orgánica % (superficie)	2	5
Capacidad Intercambio Catiónico (meq/100gr)	25	80
Carbonato de Calcio libre (%)	5-10	60
Sodio Intercambiable (%)	5	10
pH	6	8.5

Zepeda y Castañeda, 1987

Los dos requerimientos para la formación de estos suelos son: un periodo de saturación completa y una estación seca bien definida. El periodo de saturación completa produce anaerobismo y condiciones reductoras. La estación seca bien definida ocasiona que muchos de los cationes básicos permanezcan en el sistema, produciendo con ello condiciones favorables a la formación de montmorilonita.

Gran parte de los vertisols se han desarrollado en depósitos superficiales de textura fina a muy fina, los cuales generalmente son depósitos aluviales o lacustres; sin embargo, en algunos casos no se puede tener seguridad respecto a su origen. Algunos depósitos aparecen formados por erosión de los suelos, acumulando el material en una depresión en un sitio plano. Otros se han formado por la meteorización progresiva de la roca subyacente, que puede ser roca extrusiva como el basalto, sedimentaria como la caliza, o ceniza volcánica. Su desarrollo es estimulado por un contenido elevado de feldespatos plagioclásicos, minerales ferromagnesianos y carbonatos.

En las siguientes ciudades de México se han reportado la presencia de suelos expansivos: Mexicali, Tijuana, Tuxtla Gutiérrez, Ciudad Juárez, Chihuahua, Durango, Celaya, Irapuato, León, Salamanca, Chilpancingo, Tula Morelia, Guadalajara, Cuernavaca, Querétaro, Culiacán, Los Mochis, Cd. Obregón, Nuevo Laredo, Reynosa y Sota la Marina. Tomando en cuenta la zonificación de los suelos expansivos en la República Mexicana, es de esperarse que muchas ciudades de nuestro país y en lugares cercanas a ellas posiblemente presentarán problemas con ese tipo de suelo, pero aun no se dispone de información que corrobore con esto; las ciudades con posibilidades de presencia de suelos expansivos son: Torreón, Colima, Oaxaca, San Juan del Río, Guamúchil, Tampico y Poza Rica. Esto lo podemos observar en la ilustración I.8.

I.D. Perfil típico de suelos expansivos.

Los depósitos de suelo expansivo pueden variar desde materiales lacustres hasta los que aparentan ser rocas del tipo de lutita. Generalmente presentan consistencia de medianamente firme a firme, con capacidades de carga admisible superiores a 100kN/m^2 (10 ton/m^2), su peso específico suele ser que la mayoría de los suelos. De acuerdo al Sistema Unificado de Suelos (SUCS), la plasticidad de las arcillas expansivas les ubica, la mayoría de veces, en el grupo CH. No debe olvidarse que al tratarse de un suelo no saturado, al aumentar el contenido de agua de la arcilla, puede esperarse la pérdida de cohesión aparente. El intemperismo y la falta de confinamiento afectan a las paredes de las excavaciones o de los taludes, dando lugar al deterioro de la integridad masiva del depósito arcilloso, por el aumento del tamaño y presencia de grietas, provocado por la deshidratación. Las grietas a su vez pueden facilitar la penetración de agua en presencia de lluvia, favoreciendo la inestabilidad.

Comportamiento de Cimentaciones en Suelos Expansivos

Méndez Salas

Pineda Núñez



Ilustración I.8. Zonas potenciales de suelos expansivos en la República Mexicana (Zepeda y Castañeda, 1987)

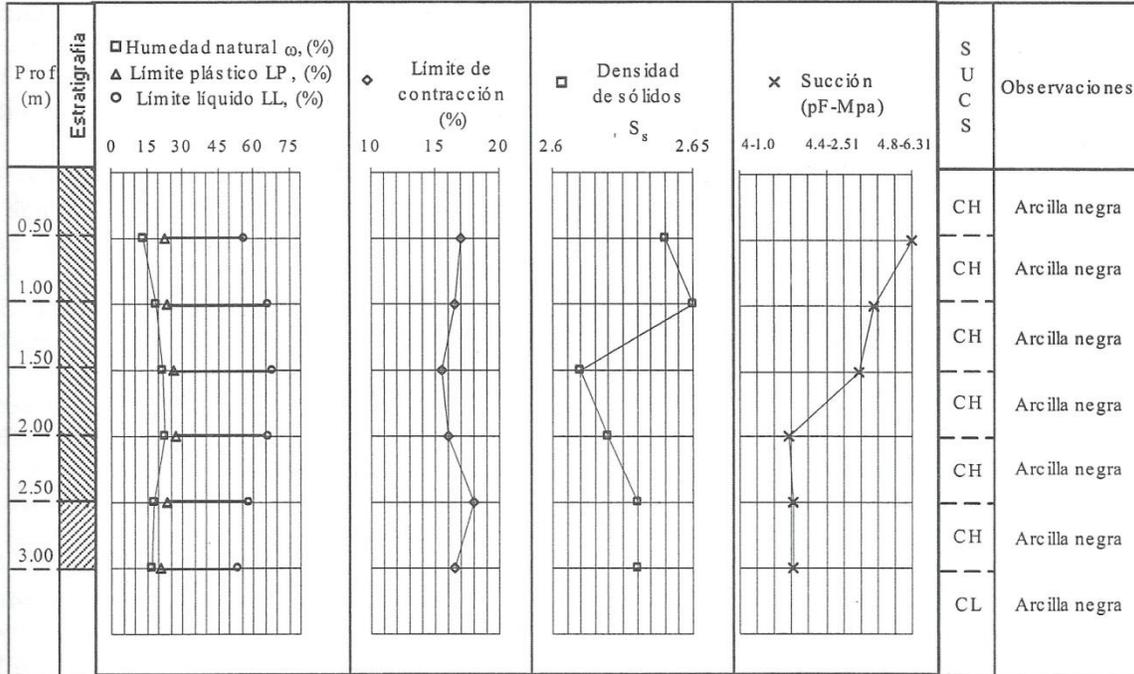
Comportamiento de Cimentaciones en Suelos Expansivos

Méndez Salas

Pineda Núñez

Lugar: Júrica, Querétaro
 Calculó: Ing. Teresa López Lara

Sondeo: No. 6 (abril 95)
 Fecha de elaboración: Sep - 95



Arcilla de baja compresibilidad
 Arcilla de alta compresibilidad

$pF = \log h$
 $h = \text{Columna de agua, cm}$

1 pF= 10 cm = 0.01 kg/cm² = 1 kPa
 2 pF= 100 cm = 0.1 kg/cm² = 10 kPa
 3 pF= 1000 cm = 1 kg/cm² = 100 kPa
 4 pF= 10000 cm = 10 kg/cm² = 1000 kPa = 1 MPa

Ilustración I.9 Perfil Estratigráfico de un suelo arcilloso expansivo de Jurica, Querétaro (López, 1996)