

FUNDACIONES EN ARCILLAS EXPANSIVAS

F. Rodríguez - Roa *

1. INTRODUCCION

Los enormes daños provocados sobre las construcciones por las arcillas expansivas, han afectado a numerosos países del mundo entero. Sólomente el costo de estos daños en los Estados Unidos, representa más del doble de los producidos en ese país por concepto de inundaciones, huracanes, tornados y terremotos (Jones y Holtz, 1973).

La importancia que ha alcanzado el estudio y tratamiento de este tipo de suelos a nivel mundial, es hoy día muy grande, habiéndose a la fecha organizado numerosos Congresos Regionales e Internacionales dedicados exclusivamente a este problema.

(*) : Profesor de Ingeniería Geotécnica, Universidad Católica de Chile.

2. ARCILLAS EXPANSIVAS EN CHILE

En nuestro país también se han registrado daños en las estructuras debido a los efectos causados por las arcillas expansivas, sin embargo, afortunadamente éstos no han alcanzado mayor envergadura a nivel nacional.

Entre los lugares en que se ha detectado la presencia de arcillas expansivas, cabe mencionar en primer término a la ciudad de Santiago y sus alrededores, habiéndose producido en el Sector Oriente diversos daños por esta causa, como ser grietas y fisuras de viviendas, levantamiento de pavimentos, rotura de redes de alcantarillado, etc. En particular, se han encontrado arcillas expansivas en las zonas de La Dehesa, Lo Orro, algunos sectores de las avenidas Kennedy y Vitacura, Macul, Lo Aguirre, etc. Ensayos efectuados por Manterola (1974) a muestras provenientes de 3 sectores de Santiago-Oriente, v. Fig. 1, arrojaron un contenido coloidal (fracción de suelo inferior a 2 micrones) promedio del orden de 25%, y una actividad (Skempton, 1953) media de 0,87. Las determinaciones mineralógicas registraron la presencia de Montmorillonita.

En la Ciudad de El Salvador, situada en la Provincia de Atacama, a 2.200 m.s.n.m., también se han detectado numerosos daños en viviendas y pavimentos derivados de la presencia de arcillas de alta expansividad. Las casas afectadas, de uno y dos pisos, consistían en su mayoría en una estructura de albañilería de bloques de mortero reforzada con pilares, vigas y losas de piso, y a veces con cubierta de hormigón armado (Boggiano y Cordsen, 1969). Estas viviendas sufrieron diferentes tipos de daños, desde pequeñas grietas a otras de gran consideración. Incluso hubo algunas construcciones, según señalan dichos autores, a cuyos propietarios se les tuvo que recomendar su demolición. En la zona de mayor potencial expansivo de El Salvador, se midió un cambio potencial de volumen denominado "crítico", de acuerdo al criterio propuesto por Lambe (1960) que se comenta más adelante. Mediante difracción de Rayos X, se registró en esa área la existencia de un porcentaje aproximado de 7% de Montmorillonita.

Según Rowe (1982) también se han encontrado arcillas expansivas en los centros mineros de El Teniente y Chuquicamata: En el primer caso, el hincha-

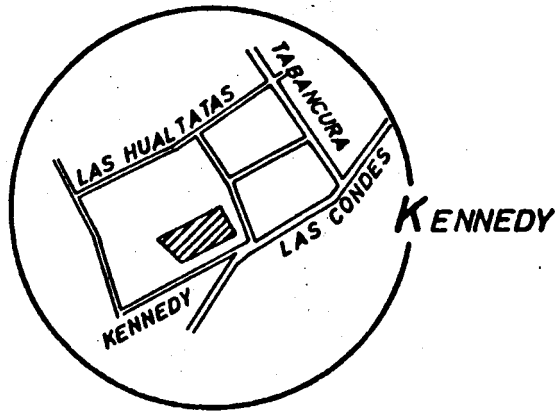
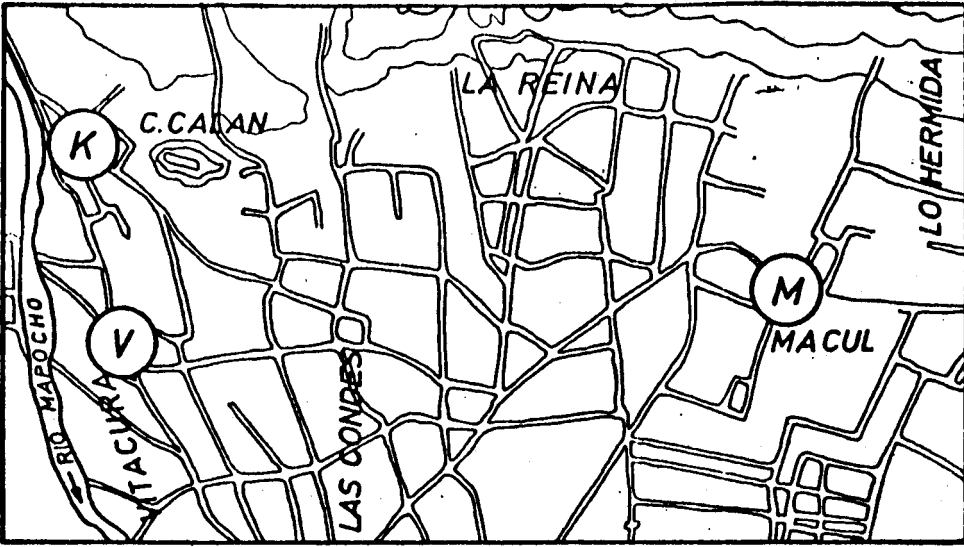
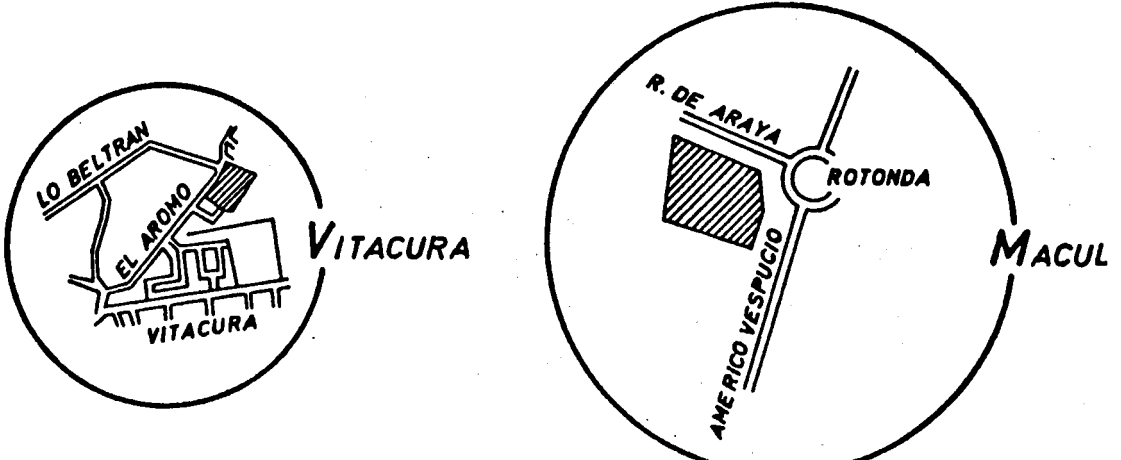


FIG. 1 LUGARES DE MUESTREO EN SANTIAGO ORIENTE
(Manterola, 1974)



miento de éstas habría levantado la losa de revestimiento del Canal de Desviación del Estero Cauquenes hacia el Canal de Descarga del Vertedero Principal del Embalse Colihues. En el segundo caso se detectó la presencia de arcillas expansivas en el sector de Laguna Seca, situado en el camino Calama-Chiu Chiu, en la Provincia de Antofagasta.

3. GENERALIDADES SOBRE EL ORIGEN Y CONSTITUCION DE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS

Dado el reducido tiempo disponible de que disponemos para esta intervención, vamos a exponer aquí sólo algunos conceptos muy básicos relativos a la formación y constitución de las arcillas expansivas.

Los minerales arcillosos provienen de la meteorización química de las rocas, y su composición, que es muy variable, depende tanto de las rocas de que proceden como también de las condiciones climáticas en que se produjo la meteorización.

Las características expansivas se presentan principalmente en los minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita, y por tanto el potencial de hinchamiento de un suelo aumenta con el contenido de estos minerales. Sin embargo, el carácter expansivo depende además fuertemente de la naturaleza misma del mineral, teniendo una gran influencia su estructura cristalina y el tipo de catión de cambio. En este último aspecto se ha comprobado, por ejemplo, un marcado aumento de la actividad en la montmorillonita - Na y en la montmorillonita - Li, con respecto a otras montmorillonitas (Mesri y Olson, 1970).

Algunos autores relacionan la composición química de la roca madre, con la composición probable del producto de la meteorización. Según Salmang (1955), las rocas ácidas, como ser granitos, riolitas, etc., tienden a formar minerales arcillosos del tipo de la caolinita como consecuencia de su descomposición, en tanto que ciertas rocas básicas, ricas en feldespatos cálcicos, como los basaltos, andesitas, etc., darían lugar bajo ciertas condiciones de meteorización, a minerales arcillosos del tipo montmorillonita. En el

caso particular de la bentonita, ésta provendría de cenizas volcánicas de carácter básico.

Teniendo presente los antecedentes geológicos de Chile, lo anteriormente señalado ayudaría a explicar entonces el origen de las arcillas expansivas detectadas en nuestro país.

Según Morales (1982) algunas de las arcillas expansivas encontradas en los sectores cordilleranos chilenos, estarían ligadas a procesos de meteorización de origen hidrotermal.

4. PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS Y SU MEDICION

4.1 Identificación. Criterios de expansividad

Durante la temporada de verano las arcillas expansivas son fácilmente identificables en el terreno, debido a las grietas y fisuras que suelen presentar en estado seco. En algunos sectores de Santiago Oriente, se han observado en la superficie grietas mayores de 5 cm.

Se han efectuado numerosos esfuerzos tendientes a obtener una identificación rápida y simple en el laboratorio, del carácter expansivo de un cierto suelo. Para tal efecto diversos autores han intentado correlacionar el grado de expansividad con algunas de las propiedades de índice del suelo, como ser índice de plasticidad, límite de retracción, contenido coloidal, etc. (Ladd and Lambe, 1961; Seed et al., 1962; Holtz and Gibbs, 1956; Skempton, 1953).

Seed (1962) llega a una correlación bastante razonable entre el Índice de Plasticidad y el porcentaje de hinchamiento libre (bajo una sobrecarga de 1 psi) de muestras compactadas con la energía del Proctor Normal y la humedad óptima. Dicha correlación permitiría evaluar el porcentaje de hinchamiento con un error probable no superior al 35%.

Lambe (1960) ha propuesto para medir el cambio potencial de volumen, el empleo del equipo que lleva su nombre, que es una especie de edómetro con un vástago ajustable en el cabezal superior de la muestra (v. Fig. 2), el cual permite la ejecución de ensa

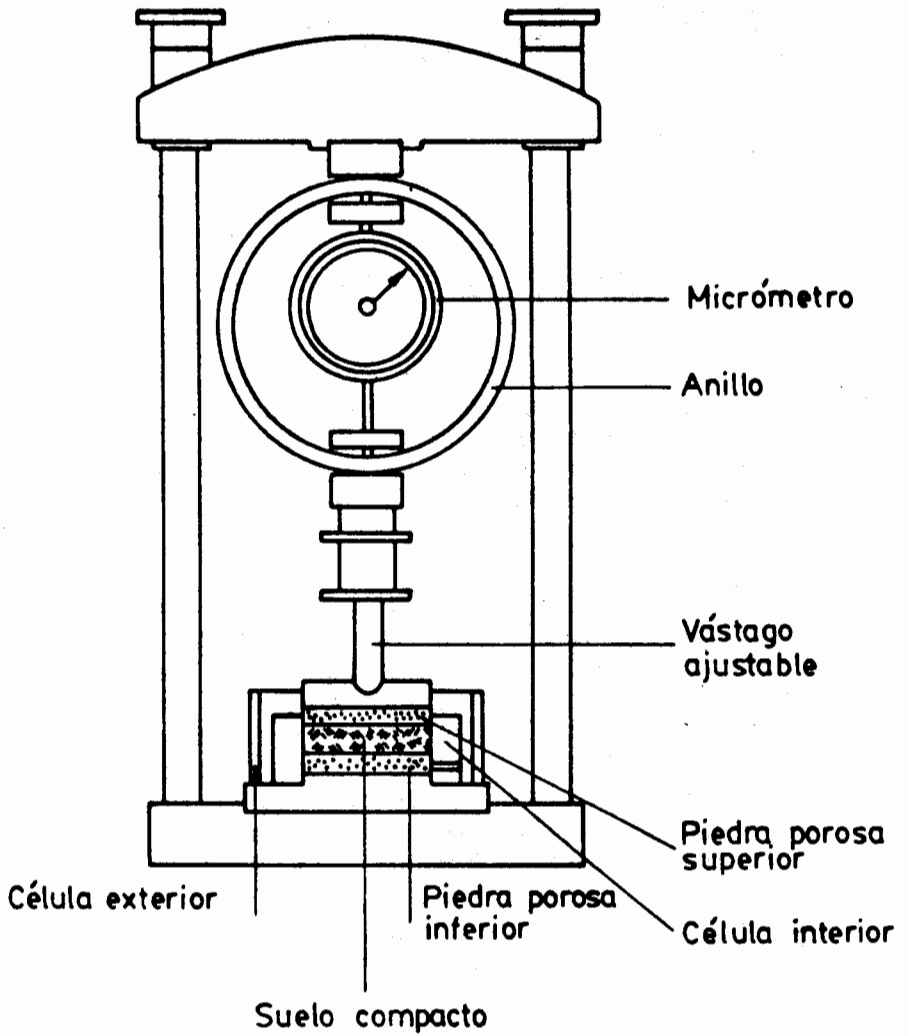


Figura 2. APARATO DE LAMBE

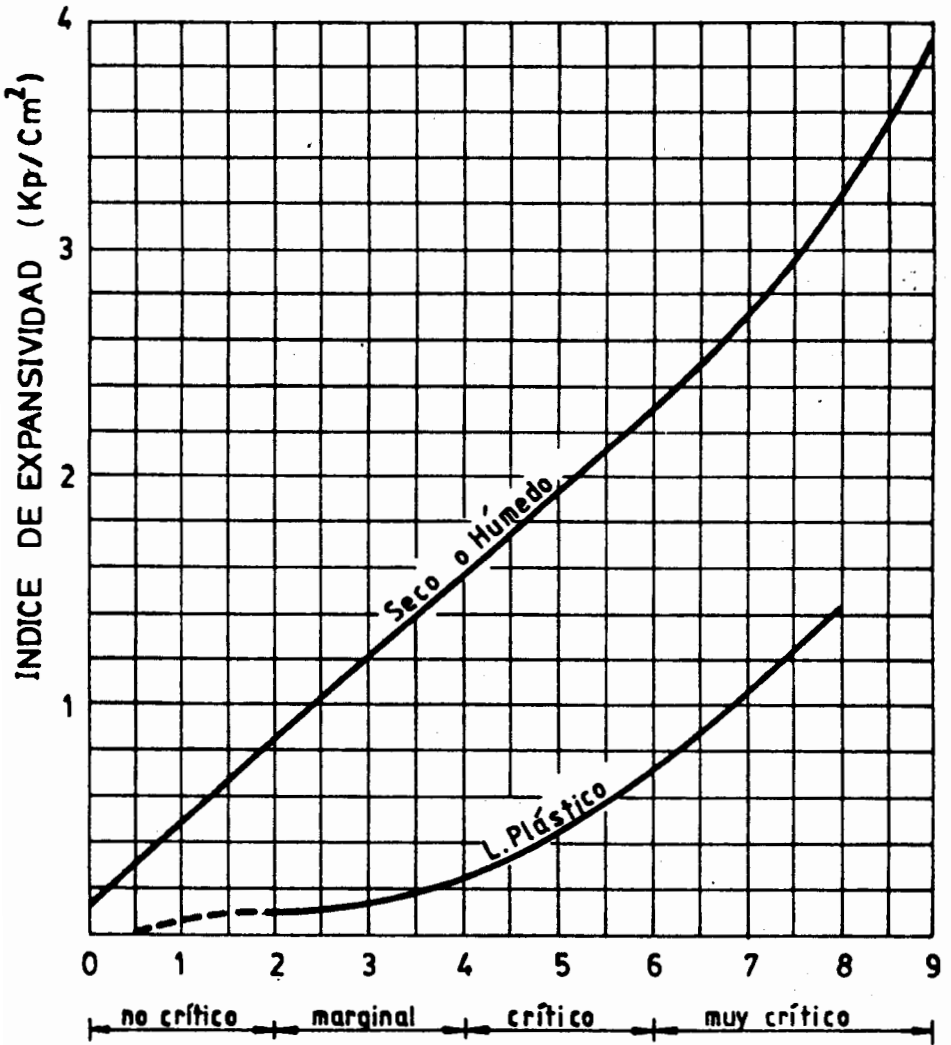


Figura 3 Relación entre el índice de hinchamiento y el cambio potencial de volumen (Lambe, 1960)

vos de hinchamiento a volumen constante. Como resultado de este ensayo se obtiene el llamado Índice de Expansividad o Índice de Lambe, que representa la presión de hinchamiento que tiene lugar después de 2 horas de haber procedido a la inundación de la muestra de suelo. Las muestras usadas en este ensayo son probetas compactadas con una determinada energía, la cual se modifica según la humedad inicial del suelo, de acuerdo a las especificaciones establecidas para el ensayo. En fig. 3 se ilustra la relación sugerida por Lambe entre el Índice de Expansividad y el Cambio Potencial de Volumen de las probetas compactadas, según que la muestra haya sido inicialmente secada al aire (muestra seca) o introducida en la cámara húmeda (muestra con humedad del 100%), o bien tenga la humedad correspondiente al Límite Plástico.

En Tabla I se adjunta un resumen de los principales criterios de expansividad existentes a la fecha, los cuales reúnen además las experiencias españolas al respecto (Rodríguez Ortiz, 1975).

TABLA I

Criterios de Expansividad

Expansividad	En términos de prop. de índice			En muestras compactadas	
	Límite de Retracción	Índice de Elasticidad	Actividad (IP/% < 2μ)	Potencial de hinchamiento de Seed (%)	Índice de Lambe (kg/cm ²) (Muestra seca o húmeda)
Baja	> 15	< 18	< 0,5	0 - 1,5	< 0,8
Media	12 - 16	15 - 28	0,5 - 0,7	1,5 - 5,0	0,8 - 1,5
Alta	8 - 12	25 - 40	0,7 - 1,0	5 - 25	1,5 - 2,3
Muy Alta	< 10	> 35	> 1,0	> 25	> 2,3

Ahora bien, a objeto de identificar los distintos minerales presentes en la fracción arcillosa, se suele recurrir al empleo del Microscopio Electrónico, a ensayos de Difracción de Rayos X, y a Análisis Térmicos Diferenciales. Al respecto existen los equipos necesarios, y personal especializado con experiencia en este tipo de ensayos, en nuestro país.

4.2 Potencial de Hinchamiento

4.2.1 Medición en el laboratorio del hinchamiento unidimensional

Entre los ensayos de laboratorio implementados para medir las "Propiedades expansivas" de los suelos, los más usados en Chile, son el de "hinchamiento libre", el de "presión de hinchamiento", y el ensayo edométrico convencional.

El ensayo de "hinchamiento libre", que habitualmente se realiza usando el equipo edométrico, mide el hinchamiento que experimenta la probeta de suelo, sometida a una sobrecarga vertical constante de 1 psi (0,07 kg/cm²), al saturarse la probeta.

El ensayo de "presión de hinchamiento", que suele efectuarse en el Aparato de Lambe, mide la presión máxima que se desarrolla durante la saturación de la probeta de suelo, para un cambio de volumen nulo de la probeta. DICTUC (Universidad Católica de Chile) dispone para la ejecución de estos ensayos, de un edómetro construido en 1947 por la firma Thomas Machine Co., Boston, Mass., USA, que permite la aplicación progresiva y gradual de las cargas sobre la muestra de suelo, lo que hace que este equipo sea también especialmente adecuado para este tipo de ensayos a volumen constante (v. Fig. 4).

Terminado el ensayo de "presión de hinchamiento" propiamente tal, suele retirarse la carga paulatinamente hasta alcanzar una sobrecarga de 1psi. El porcentaje de hinchamiento así obtenido, resulta en general significativamente menor que el valor entregado por un ensayo de "hinchamiento libre" (Escario, 1979). Por otra parte, si después de finalizado un

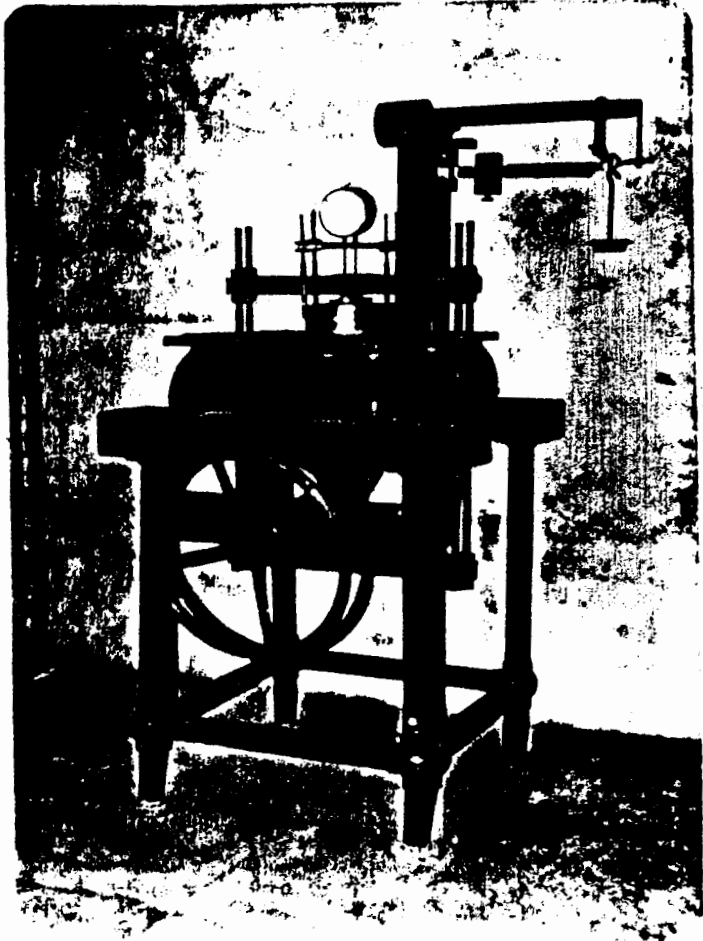


FIG. 4 : EDMETRO EMPLEADO POR DICTUC PARA ENSAYOS DE "PRESION DE HINCHAMIENTO"

ensayo de "hinchamiento libre" recargamos la probeta de suelo hasta alcanzar el volumen original de la misma, la presión de hinchamiento resultante suele ser superior al valor de la presión entregada por un ensayo de "presión de hinchamiento" (Fredhund, 1969). De aquí se desprende la importancia que presenta la trayectoria de tensiones, en conjunto con la historia de humedades, en la determinación de las "propiedades expansivas" del suelo, y por ende la importancia que tiene la metodología adoptada para los ensayos a efectuar en el laboratorio, la cual debiera ajustarse en lo posible, a cada caso concreto en particular.

4.2.2 Consideración de la anisotropía

La presión de hinchamiento y el movimiento del terreno que potencialmente pueden tener lugar en cada punto de la masa de un suelo dado, dependen fundamentalmente del grado de saturación inicial, del nivel de tensiones en dicho punto, y de la magnitud del cambio de humedad que produce la perturbación. Sin embargo, en casos de arcillas muy anisotrópicas, la respuesta del suelo según las direcciones vertical y horizontal, puede ser significativamente diferente. Por otra parte la mayor o menor restricción al movimiento en la realidad, juega un papel primordial en los empujes desarrollados por el suelo. Para pequeñas sobrecargas, los esfuerzos laterales u horizontales pueden ser apreciablemente mayores que los esfuerzos verticales.

En el caso de muestras no perturbadas provenientes de pozos o calicatas, la medición del potencial de hinchamiento lateral puede hacerse también en el Aparato de Lambe o en el edómetro, ensayando simplemente la muestra en la dirección perpendicular a la estratificación.

En muestras provenientes de sondeos de pequeño diámetro, para considerar el efecto de la anisotropía puede recurrirse al equipo triaxial clásico, con algunas ligeras implementaciones, o bien como lo hacen Kōmornick y Zeitlen (1965), instrumentar con strain gages la parte interior del anillo edométrico, a objeto de medir las presiones laterales desarrolladas por el suelo durante el ensayo .

4.2.3 Influencia de la succión en el hinchamiento de un suelo expansivo

Los movimientos del suelo derivados de las variaciones de humedad, son propios de los suelos no saturados. En una arcilla expansiva situada bajo el nivel freático, el cambio potencial de volumen por este concepto es nulo.

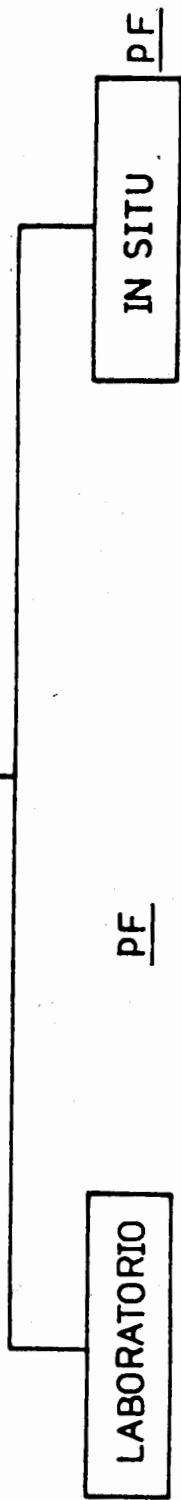
El escurrimiento del agua en el interior de una masa de suelo no saturado, que origina los cambios de volumen, viene gobernado por ciertas ecuaciones diferenciales que hoy en día pueden ser resueltas por Elementos Finitos sin mayor dificultad, cualesquiera sea la geometría y condiciones de contorno del problema (Rodríguez Roa, 1982). Para la definición de los parámetros del suelo involucrados en este fenómeno, puede recurrirse a medidas de succión (presión intersticial negativa) in situ y/o en el laboratorio mediante diferentes procedimientos (v. Fig. 5).

El campo de succiones existente en el terreno natural, está íntimamente ligado al potencial de hinchamiento del suelo. En términos generales, cuanto mayor sea la succión de un suelo, mayor será el cambio potencial de volumen de éste, y por ende más peligrosos serán los efectos sobre las estructuras fundadas en él. En la figura 6, se muestra la variación que experimenta la succión de un suelo expansivo, inicialmente seco, al absorber agua, fenómeno que viene acompañado de un hinchamiento importante (Jiménez Salas y Justo Alpañes, 1971). Dada la gran magnitud de las presiones de succión que puede alcanzar un suelo expansivo no saturado, como se observa de la Fig. 6, se explica entonces su gran capacidad de absorber humedad, principalmente cuanto menor es su grado de saturación.

Lo señalado anteriormente ayuda también a explicar el origen de las grandes grietas y fisuras que son características de los suelos expansivos en estado seco.

Finalmente es preciso señalar que, para una interpretación adecuada de las mediciones de succión efectuadas in situ o en laboratorio, debe tenerse en consideración que no existe una relación única entre el contenido de humedad y la presión de succión, sino

MEDIDA DE LA SUCCION



- | | | | |
|------------------------|--------------|---------------------|-----------|
| PLACA SUCCION | 0-2 | CELULAS DE YESO | 2,5 - 4,5 |
| A. PRESION DE MEMBRANA | { 0-4
4-6 | PSICROMETRO | 0 - 6 |
| DESECADOR DE VACIO | 5-7 | PIEZOMETRO DE SUCC. | 0 - 5 |

(pF = Logaritmo en base 10 de la succión expresada en cm. de agua)

Figura 5 Procedimientos existentes para medir la succión.
(Rodríguez Ortiz, 1975.)

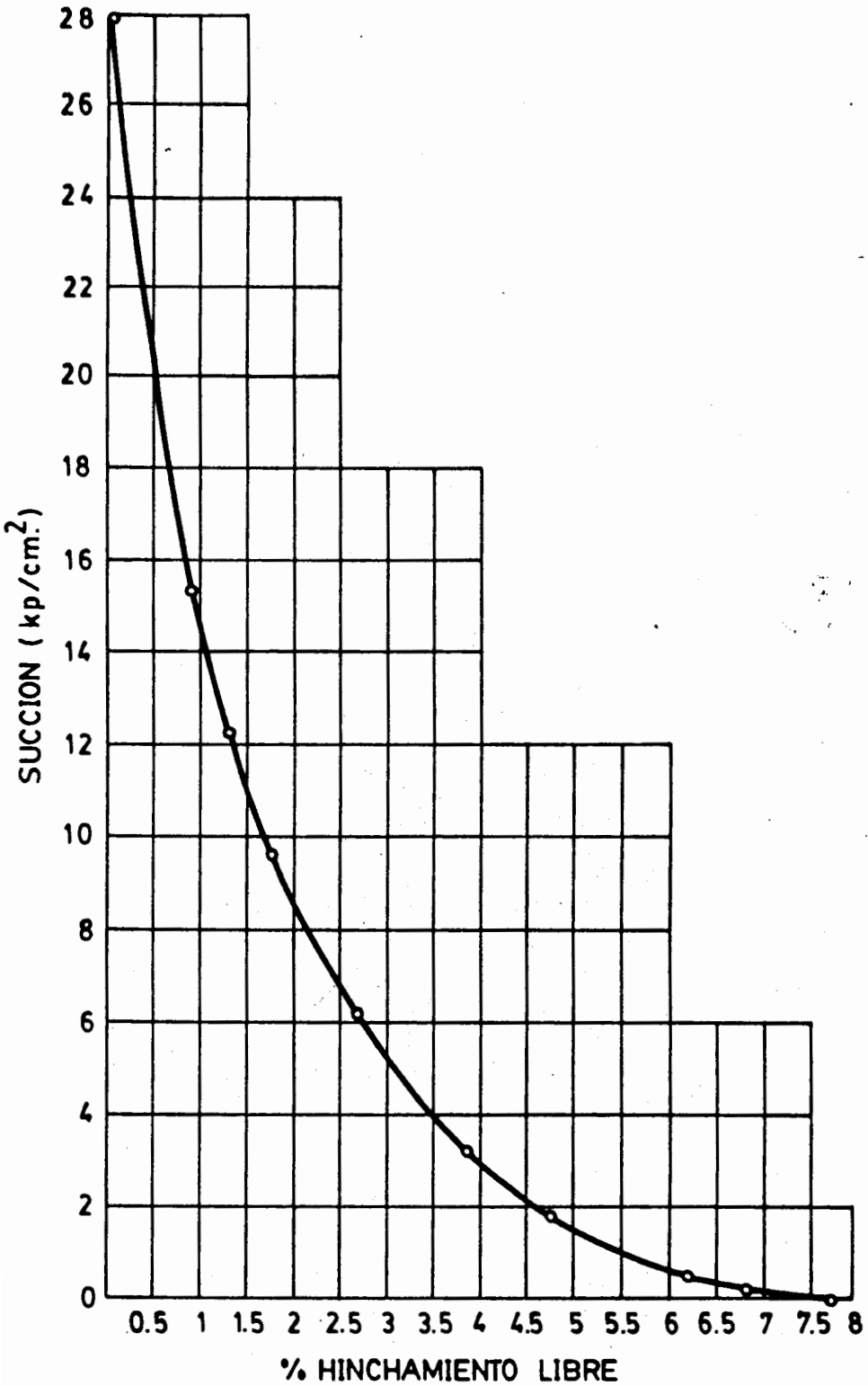


Figura 6 Hinchamiento libre (presión 0.2 t/m^2) de una muestra de suelo en función de la succión (Jiménez Salas y Justo Alpañes, 1971)

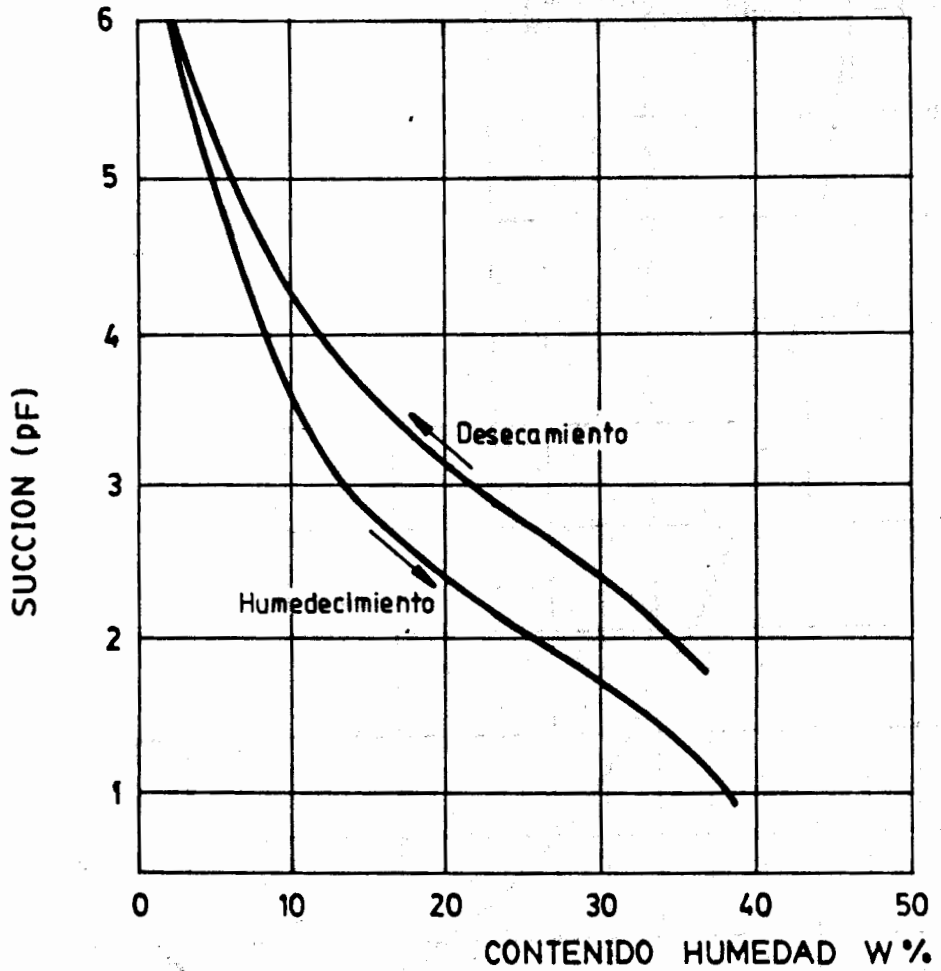


Figura. 7 Relación entre la succión y el contenido de humedad de una arcilla. (según Schofield)

que ésta depende de la historia de humedades del suelo (v. Fig. 7), aspecto que reviste gran importancia en la explicación de algunas aparentes anomalías en el comportamiento de ciertos suelos finos no saturados.

4.2.4 Influencia del grado de preconsolidación

Un factor que puede influir también en forma importante en el potencial de hinchamiento de una arcilla expansiva, es su grado de preconsolidación. En arcillas normalmente consolidadas, se ha observado que el hinchamiento de una muestra inalterada resulta del mismo orden que el hinchamiento que presenta la muestra remoldeada con el mismo contenido de humedad. Sin embargo, en suelos preconsolidados, la destrucción de uniones de tipo diagenético que origina el remoldeo, puede conducir en este caso a potenciales de hinchamiento muy superiores en las muestras perturbadas, que el correspondiente a las muestras inalteradas, sobrees timando así el potencial expansivo del terreno natural.

4.2.5 Influencia de la cementación

La presencia de elementos cementantes en un suelo expansivo, como ser carbonatos, sesquióxidos, sílice, etc, es favorable, e incluso si el grado de cementación es alto, el hinchamiento de la muestra no perturbada puede ser pequeño o prácticamente nulo.

4.3 Propiedades de compactación

Con relación al comportamiento de rellenos compactados, se ha podido comprobar la gran influencia que tiene la humedad y la energía de compactación, en el hinchamiento de éstos.

En Fig. 8 se muestran los resultados obtenidos por Manterola, Retamal y Acevedo (1975), en arcillas del Oriente de Santiago, con muestras compactadas con la energía del Proctor Standard. Se observa

que para menores humedades iniciales de compactación, estas arcillas presentan mayores "hinchamientos libres" en el laboratorio. Diferencias de sólo -2% con respecto a la humedad óptima, provoca aumentos muy grandes en el porcentaje de hinchamiento.

Por otra parte, a medida que aumenta la energía de compactación, y a igualdad de las otras variables, crecería el potencial de hinchamiento. Tal es el caso de los suelos de la Ciudad de El Salvador, como puede verse en Fig. 9, debida a Boggiano y Cordsen (1969), en donde se muestran los resultados obtenidos en el Aparato de Lambe, en probetas de suelo sometidas a distintas energías de compactación. El rango de variación de golpes por capa, se hizo fluctuar entre 4 y 35 golpes, frente a los 7 golpes especificados por Lambe para su ensayo en muestras secadas al aire. Del gráfico mencionado es dable apreciar el incremento significativo que presenta el Índice de Hinchamiento de Lambe, al aumentar la densidad seca de compactación de la probeta.

En general no se debieran usar arcillas expansivas como material de terraplenes. Sin embargo, en algunos casos se han conseguido buenos resultados mezclando estas arcillas con suelos no expansivos y/o estabilizándolas con cal. En todo caso, de acuerdo a lo comentado anteriormente, la compactación de los suelos expansivos es conveniente efectuarla del lado húmedo, con respecto a la humedad óptima del Ensayo Proctor.

5. EFFECTOS SOBRE LAS EDIFICACIONES

La estimación del hinchamiento o levantamiento del terreno de fundación, requiere al menos de un cálculo análogo al que habitualmente se emplea para la estimación de asentamientos.

El hinchamiento secundario en general suele omitirse. En caso en que éste tuviera cierta significación y fuera necesario considerarlo, podría tenerse en cuenta en forma similar a la consolidación secundaria.

Con relación a la variación en el tiempo del fenómeno, el proceso de expansión, que en general sue

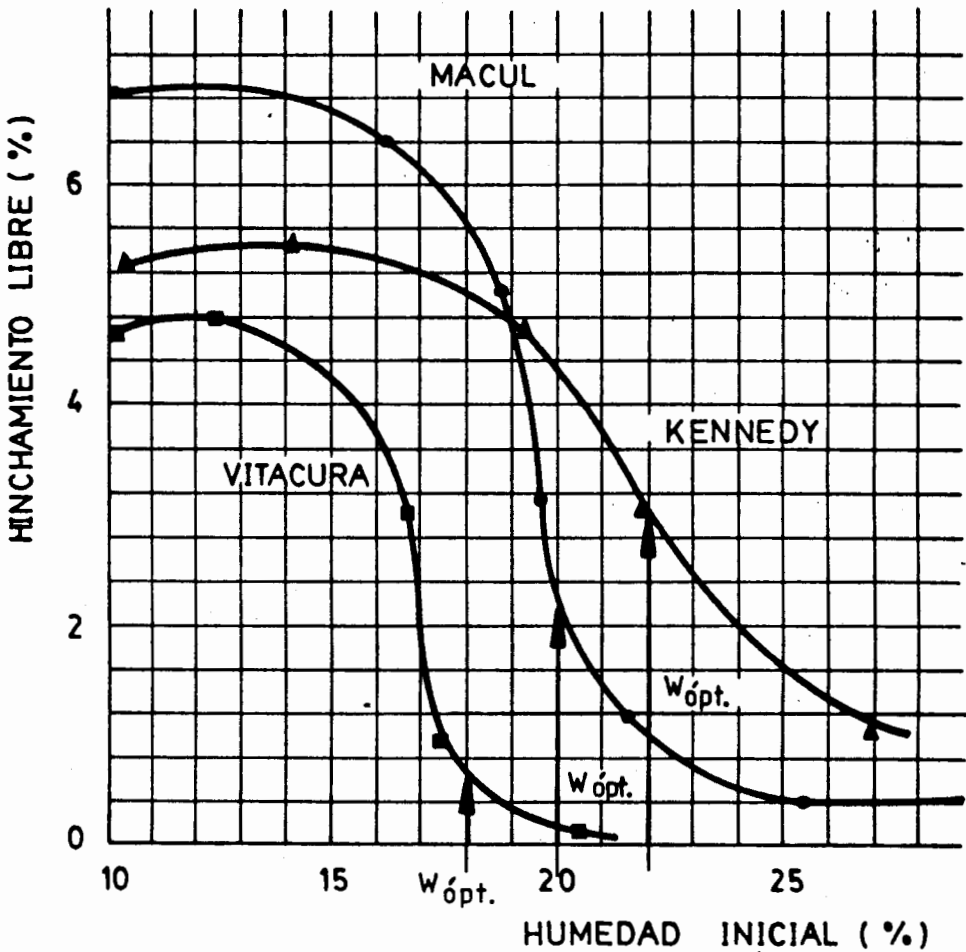
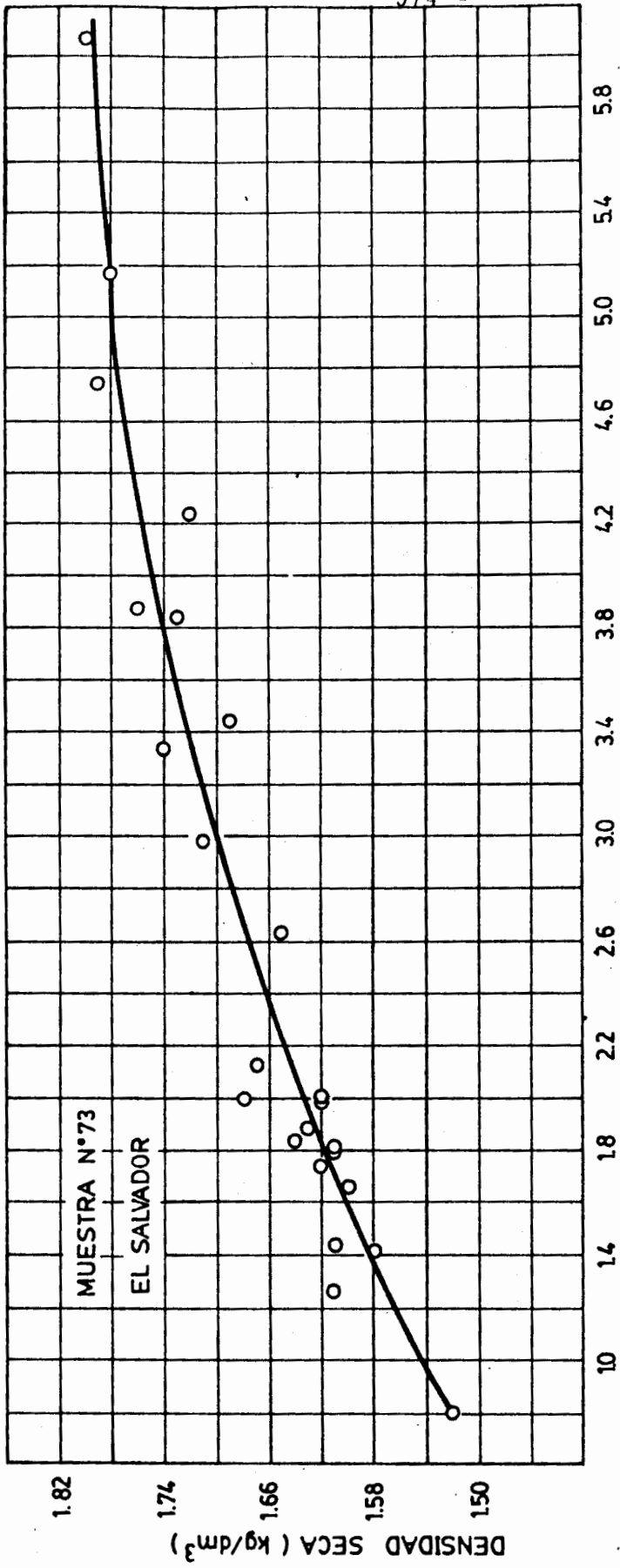


Figura 8. Relación entre el hinchamiento y la humedad inicial de compactación en tres muestras diferentes del oriente de Santiago. (Manterola et al., 1975)



ÍNDICE DE HINCHAMIENTO DE LAMBE (Kg/cm²)

Densidad seca vs. índice de hinchamiento
(Boggiano y Cordser, 1969)

MUESTRA N°73
EL SALVADOR

le ser más rápido que el de consolidación, puede también caracterizarse por un cierto coeficiente de hinchamiento, análogo al coeficiente de consolidación.

La diferencia básica que se presenta en el cálculo de los movimientos diferenciales de un suelo de fundación de carácter expansivo, estriba en que, o se adoptan las precauciones necesarias para mantener aproximadamente estables las condiciones de humedad del suelo de fundación, o bien se deberá considerar un amplio espectro de humedades iniciales y de cambios de humedad, que contemple las condiciones climáticas extremas que puedan presentarse en el lugar, y las posibles modificaciones que pudiera tener el nivel freático. En algunos casos, dependiendo del proyecto, podría ser necesario además, la consideración de condiciones de drenaje diferentes para el análisis del hinchamiento, en el tiempo, de las muestras de suelo correspondientes a la zona del borde exterior, y para las representativas de la parte interior de la fundación, que son los puntos entre los cuales suele ocurrir el máximo movimiento diferencial debido a variaciones de humedad por cambios estacionales. En este sentido, podría darse la circunstancia de que cuando la zona perimetral exterior de las fundaciones iniciara el proceso de retracción al comienzo de la temporada de verano, la zona central estuviera aún levantándose debido al aumento de humedad generado por la infiltración de las últimas lluvias, lo que podría dañar en forma progresiva el edificio por movimientos diferenciales.

Los daños producidos por las arcillas expansivas se han observado en general en edificios livianos, y ellos se han debido principalmente a asentamientos o hinchamientos diferenciales de la estructura.

El hinchamiento diferencial observado en edificios, sería del orden de 50% a 75% del total, en suelos de mayor permeabilidad, derivada por ejemplo de la presencia de grietas o fisuras, y de 25% a 40% en suelos de baja permeabilidad (Donaldson, 1973).

Los esfuerzos horizontales desarrollados por los suelos expansivos, también han producido deterioros y fallas en las construcciones. Incluso en algunos casos, éstos han llegado a dañar a edificaciones pesadas producto del empuje lateral que ha actuado de dentro hacia afuera, en la parte superior de la fundación (v. Fig. 10). Grietas típicas producidas en vi-

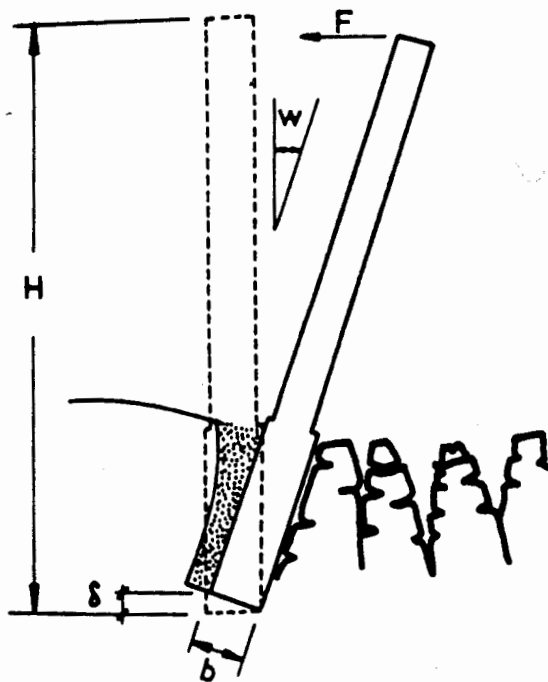


Figura 10 EMPUJES HORIZONTALES SOBRE LAS FUNDACIONES DEBIDO A LA PRESENCIA DE ARCILLAS EXPANSIVAS

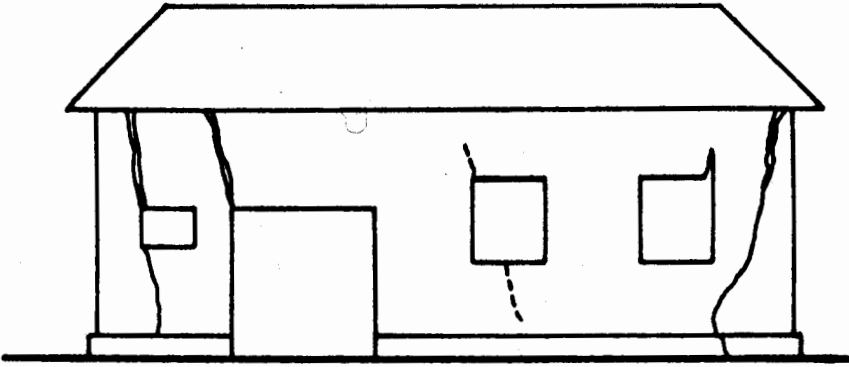


Figura 11 Grietas típicas producidas por una expansión horizontal del sub suelo

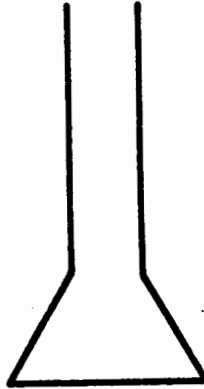


Figura 12 TIPO DE FUNDACION RECOMENDADA PARA ARCILLAS EXPANSIVAS

viendas de un piso, por la expansión horizontal de una arcilla, se muestran en Fig. 11 (Jiménez Salas, 1965)

6. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCION DE FUNDACIONES SOBRE ARCILLAS EXPANSIVAS

En el proyecto de fundaciones sobre arcillas expansivas resulta en general recomendable el empleo de criterios empíricos basados en la experiencia o en la observación de estructuras ya construídas, dada la dificultad de poder predecir por medio de teorías o ensayos, las condiciones reales. De tales criterios se señalan a continuación los más importantes:

- 6.1 El nivel de la cota de fundación deberá situarse a una profundidad tal de que no se vea mayormente influenciada por los cambios estacionales. Una medida clara en este sentido cuando el nivel freático es profundo, viene dada por la propia estratigrafía del lugar, de acuerdo a la profundidad hasta la cual se desarrollan las grietas y fisuras. En algunos sectores de la zona Oriente de Santiago, esto ha llevado a profundidades mínimas de cimentación de viviendas, del orden de 1.5 mts.
- 6.2 Para evitar o disminuir las presiones de origen expansivo al nivel de radier, existen dos alternativas:
- a) Estabilizar con cal, o simplemente retirar una capa de suelo superficial, en general entre 0,5 y 1,0 mts, la cual se reemplaza con material de relleno compactado no expansivo.
 - b) Dejar un espacio libre entre la losa de radier y vigas de fundación, y la superficie del terreno, de forma tal de que las expansiones del subsuelo no afecten a la losa de piso.
- 6.3 Según el menor o mayor potencial de hinchamiento del suelo, y de acuerdo a la profundidad a la

cual éste sea relativamente estable, se requerirán fundaciones poco profundas, semi-profundas o profundas. Ello en definitiva vendrá dado por la magnitud máxima de las distorsiones angulares admitida por la superestructura, y por las características del subsuelo.

6.4 Es aconsejable que las fundaciones se construyan ligeramente más anchas en la base, a objeto de aprovechar la propia reacción del terreno cuando el cimiento tienda a levantarse (v. Fig. 12). También es recomendable, el adoptar ciertas precauciones encaminadas a reducir al máximo la fricción lateral entre el terreno y las fundaciones, a fin de disminuir la fuerza ascensional que el suelo al hincharse tiende a desarrollar sobre ellas.

6.5 Las estructuras de albañilería deberán reforzarse con pilares, cadenas y sobrecimientos armados.

6.6 Se recomienda resguardar las excavaciones que se efectúen para la construcción de las fundaciones, frente a posibles inundaciones en invierno o de secamientos en verano. En este sentido, resulta aconsejable el empleo de una membrana impermeable, o bien de una mano de pintura con emulsión bituminosa diluída en agua, a fin de proteger contra el desecamiento las paredes de las excavaciones. Es conveniente mantener un ambiente húmedo, pero sin acumulación de charcos de agua ni barro en el sello de fundación, antes de proceder al hormigonado de las fundaciones.

6.7 Se deberá tener especial cuidado en el tendido de las redes de agua potable y alcantarillado, las que deberán disponer en lo posible de juntas flexibles. Por otro lado, a fin de controlar eventuales pérdidas de agua, se tomarán las medidas necesarias para que, en el caso de que éstas se produjeran, no afecten las fundaciones próximas. Esto último también es válido para la ubicación, diseño y construcción de jardines.

- 6.8 En caso de existir flujos horizontales de humedad, pueden emplearse membranas impermeabilizantes periféricas verticales, a objeto de aislar y proteger las fundaciones. En este sentido resulta de gran importancia el ubicar durante la etapa del reconocimiento del terreno, cualquier capa arenosa que pudiera existir intercalada, como también la profundidad, magnitud y frecuencia de las grietas y fisuras, que pueden afectar significativamente la permeabilidad del terreno.
- 6.9 También se ha usado como medida de protección de las fundaciones frente a los cambios de humedad derivados de la infiltración de las aguas lluvias, la construcción de áreas pavimentadas en el entorno de la edificación.
- 6.10 La presencia de árboles cercanos a las fundaciones, puede generar también efectos negativos en suelos arcillosos expansivos, porque tienden a la desecación del terreno. Entre los árboles peligrosos en este sentido, cabe mencionar a los siguientes: Sauce, Alamo, Acacia, Olmo, Encina, etc. Al respecto Skempton (1954) recomienda mantener en estos casos, una distancia mínima entre el árbol y la fundación más próxima, igual a la altura del árbol en su edad de pleno desarrollo.

7. AGRADECIMIENTOS

El autor desea testimoniar su agradecimiento al Departamento de Ingeniería Estructural de la Universidad Católica de Chile, por las facilidades otorgadas para la presentación y publicación de este trabajo.

8. REFERENCIAS

- Boggiano, R., y Cordsen, H., 1969, "Hinchamiento de Arcillas en El Salvador", Memoria Ing. Civil, U. de Chile.
- Donaldson, G.W., 1973, "The Prediction of Differential Movement on Expansive Soils", Proc. 3 rd. Int. Conf. on Exp. Soils, Israel, Vol. I, pp. 289-293.
- Escario, V., 1979, "Determinación de las características geotécnicas de los suelos expansivos", Boletín Informativo del Laboratorio del T. y Mecánica del Suelo, N°132, pp. 3-9, Madrid, España.
- Fredhund, D.G., 1969, "Factores metodológicos del ensayo edométrico en la presión de hinchamiento de los suelos", II Congreso Arcillas Expansivas, pp. 435-456, Texas, U.S.A.
- Holtz, W.G., and Gibbs, H.J., 1956, "Engineering properties of expansive clays", Transactions ASCE, Vol. 121, pp. 641-677.
- Jiménez Salas, J.A., 1965, "Cálculo de los esfuerzos producidos sobre los edificios por las arcillas expansivas", Laboratorio del T. y Mecánica del Suelo, Publicación N° 20, Madrid, España.
- Jiménez Salas, J.A., y Justo Alpañes, J.L., 1971, "Geotecnia y Cimientos I", Editorial Rueda, Madrid, España.
- Jones, D.E., y Holtz, W.G., 1973, "Expansive Soils, The Hidden Disaster", Civil Engineering, ASCE, Vol. 43, Aug.
- Komornick, A., y Zeitlen, J.G., 1965, "An apparatus for measuring lateral soil swelling pressure in the laboratory", Proc. 6 th Int. Conf. Soil Mech. and F.E., Vol 1, pp. 278-281, Montreal, Canadá.
- Ladd, C.C., and Lambe T.W., 1961, "The Identification and Behavior of Expansive Clays", Proceedings, 5 th Int. Conf. on Soil Mech. and F. Eng., Paris.
- Lambe, T.W., 1960, "The Character and Identification of Expansive Soils", Report 701 to the Federal Housing Administration, Washington D.C.

- Manterola, F., 1974, "Potencialidad de Hinchamiento de Arcillas al Oriente de Santiago", Memoria U. de Chile.
- Manterola, F., Retamal, E., Acevedo, P., 1975, "Determinación del Potencial de Hinchamiento de Algunas Arcillas Locales", 5° Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Buenos Aires, Argentina.
- Mesri, G., y Olson, R.E., 1970, "Shear strength of montmorillonite", Geotechnique, 20, pp. 261-270.
- Morales, A., 1982, Comunicación personal.
- Rodríguez Ortiz, J.M., 1975, "Las arcillas expansivas: su estudio y tratamiento", Boletín Informativo del Laboratorio del T. y Mecánica del Suelo, N°108, pp. 3-30, Madrid, España.
- Rodríguez-Roa, F., y Muñoz, J., 1982, "Modelo de Cálculo Numérico para el análisis de problemas de infiltración y drenaje", 1 er Congreso Chileno de Ing. Geotécnica, Vol I, pp. 293-324.
- Rowe, E., 1982, Comunicación personal.
- Salmang, H., 1955, "Los fundamentos físicos y químicos de la cerámica", Ed. Reverté S.A., Barcelona España.
- Seed, B., Woodward, R., y Lundgren, R., 1962, "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays", Journal of the Soil Mech. and Found. Div., SM3, ASCE, pp. 53-87.
- Skempton, A.W., 1953, "The colloidal activity of clays", 3 er Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, Vol. I, Zurich, Suiza.
- Skempton, A.W., 1954, "A foundation failure due to clay shrinkage caused by poplar trees", Proc. of I.C.E., pp. 66-83.