

FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales



**PRIMER ENCUENTRO NACIONAL DE INGENIEROS
DE SUELOS Y ESTRUCTURAS**

Bogotá, Septiembre de 1991

PATOLOGIA DE LAS EDIFICACIONES EN SUELOS EXPANSIVOS

Por Germán A. Villafañe R.¹

RESUMEN

Se presentan casos de patología de algunas edificaciones que en la ciudad de Cali han sido cimentadas superficialmente en suelos de alto potencial contracto-expansivo. Se discuten los principales factores que influyen en su deterioro, se analizan las medidas correctivas que usualmente se toman para repararlas y se dan algunas recomendaciones generales con el fin de reducir su vulnerabilidad ante estos fenómenos.

¹ Ingeniero Civil de la Universidad del Valle.

Master en Ingeniería de Suelos y Cimentaciones de University of Florida, Gainesville.

Profesor Asociado de la Universidad del Valle.

Ingeniero Consultor en Geotecnia.



**PRIMER ENCUENTRO NACIONAL DE INGENIEROS
DE SUELOS Y ESTRUCTURAS**

**PATOLOGIA DE LAS EDIFICACIONES
EN SUELOS EXPANSIVOS**

Por Germán A. Villafañe R.

INTRODUCCION

Las edificaciones de la ciudad de Cali cimentadas superficialmente en suelos de alto potencial contracto-expansivo presentan un deterioro progresivo manifestado en fisuramientos, agrietamientos y giros monolíticos de sus muros y elementos estructurales, a causa de movimientos diferenciales de sus cimientos, ocasionando altos costos en reparaciones, litigios y en algunos casos su demolición total.

En otras ciudades de Colombia (Bogotá, Cúcuta, Medellín, Barranquilla) se han reportado casos similares. En los Estados Unidos de Norteamérica el valor anual de las reparaciones por este concepto se estima en siete mil millones de dólares (Krohn y Slosson 1980), cifra que supera en más del doble el valor total de las pérdidas por concepto de



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

inundaciones, huracanes, tornados y terremotos (Jones y Holtz 1973). En otros países (Canadá, México, Cuba, Venezuela, Argentina, Brasil, Ecuador, Perú, España, Inglaterra, Irak, Israel, Australia, y en varios países de Sudáfrica) también se presentan estas patologías.

ANTECEDENTES

El problema de suelos expansivos fué identificado a finales de 1930, década en la que se incrementó en los Estados Unidos de Norteamérica la construcción en mampostería de cerámica. En la década de 1940 aumentaron los daños en las edificaciones, fenómeno que se relaciona con el incremento en el uso de losas de cimentación de concreto apoyadas directamente sobre el terreno.

En 1959 se llevó a cabo la primera conferencia norteamericana sobre suelos expansivos. El fenómeno es de tal magnitud que hasta la fecha se le han dedicado seis (6) conferencias internacionales y muchos esfuerzos a su investigación.

Para identificar áreas de suelos expansivos se han propuesto indicadores basados en las características del clima, del subsuelo, del terreno y de la vegetación existente (Jones 1976; Lytton y otros 1976). En los Estados Unidos de Norteamérica el clima es un importante indicador y



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

se clasifica mediante el índice de humedad de Thornthwaite (Thornthwaite 1948).

Los métodos propuestos inicialmente para clasificar el potencial expansivo de los suelos correlacionan el límite líquido, el índice de plasticidad, el límite de contracción y el contenido coloidal (Holtz y Gibbs 1954). Después se recomendó que estas propiedades índices fueran complementadas con la expansión libre y la presión de expansión en el consolidómetro. Posteriormente se propuso un sistema basado en la determinación del cambio potencial de volumen (Índice Lambe-PVC) en muestras remoldeadas. La "United States Army Engineer Waterways Experiment Station" (USAEWES) actualmente recomienda que en la clasificación del potencial expansivo se considere, entre otras propiedades índices, la succión inicial in situ del suelo (Snethen y otros 1977).

Para cuantificar la expansión del subsuelo se han utilizado los resultados de expansión total en el consolidómetro (Johnson y Stroman 1976), los métodos de Mc Dowell (1956), Vijayvergiya - Ghazzaly (1973) y Seed-Woodward-Lundgren (1962), el método de cambio de succión (Johnson 1979, Lytton 1971) y el método del "Post-Tensioning Institute" (PTI 1978).

Las predicciones teóricas de los movimientos del terreno y los cálculos



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

del espesor de la capa activa y la distancia de variación de la humedad desde los bordes hacia el interior de la edificación (Wray 1980; PTI 1978; M^CKeen y Johnson 1990) deben ser confrontadas con experiencias locales, ya que las condiciones particulares del clima, drenaje, vegetación y estructura del suelo, entre otras, hacen que los cálculos realizados difieran considerablemente de los registros del comportamiento real del subsuelo de cimentación.

FENOMENO OBSERVADO EN CALI

Durante las décadas de 1950 a 1970 la ciudad de Cali se extendió aceleradamente y los barrios Salomia, La Base, Los Andes, Las Delicias, La Flora, Vipasa, Prados del Norte, Benjamín Herrera, Industrial, Olímpico, Departamental, Eucarístico, entre otros, se densificaron con edificaciones cimentadas superficialmente sobre terrenos de alto potencial contracto-expansivo, las cuales han venido presentando un deterioro progresivo; en esa época no era práctica usual la realización de estudios geotécnicos y no se tomaban medidas especiales. En la actualidad se realizan normalmente estudios de suelos y el fenómeno ha sido más investigado; sin embargo sus daños alarman a propietarios y constructores y algunas veces ocasionan litigios entre estos.

Con base principalmente en casos estudiados durante los últimos siete



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

(7) años, se presentan a continuación los factores que influyen en las patologías de las edificaciones cimentadas superficialmente sobre suelos de alto potencial contracto-expansivo. Estos casos se ilustran con registros fotográficos y consisten principalmente en descensos de los bordes de las edificaciones por contracción diferencial del subsuelo, debido generalmente a fenómenos de evapotranspiración y desecación excesiva, los cuales ocasionan fisuras, grietas y giros monolíticos de los muros y cimientos. En menor escala se presentan casos de levantamientos de pisos y cimientos debido a saturación del subsuelo por infiltración de aguas lluvias ó fugas en tuberías de acueductos y alcantarillados, ascensos de los niveles freáticos y fenómenos de migración gravitacional, acción capilar y transferencia térmica de vapor cuando se alteran los gradientes de temperatura en el subsuelo.

Características del subsuelo y nivel freático

Uno de los principales factores que ocasionan los movimientos diferenciales de los cimientos de las edificaciones es el alto potencial contracto-expansivo que presentan algunos suelos arcillosos parcialmente saturados con un alto contenido de partículas finas, cuyo mineral predominante es la montmorillonita. Este mineral generalmente se forma en las regiones donde se presentan largos períodos sin lluvias. Su efecto fundamental es ocasionar en el subsuelo grandes contracciones y expansiones volumé-



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

tricas cuando su humedad disminuye y aumenta respectivamente.

Son complejas las razones por las cuales se produce la contracción y expansión excesiva de algunas arcillas parcialmente saturadas al variar su contenido de agua. Una de ellas es que la tensión capilar en los meniscos cóncavos aumenta en la medida que el suelo se seca, ya que se retraen hacia los vacíos de menores diámetros, aumentan las fuerzas de succión, aumenta la presión efectiva y se produce, por tanto, su contracción volumétrica. Cuanto menor sea el tamaño de las partículas de arcilla, menor será el diámetro de los vacíos y mayores serán las succiones (presiones negativas) en el agua intersticial, la presión efectiva y, por tanto la contracción volumétrica de la arcilla. Cuando la arcilla se humedece, el agua llena los vacíos de menores diámetros, la succión disminuye, la presión efectiva disminuye y el suelo se expande.

Las zonas de la ciudad con patologías severas presentan las siguientes características geotécnicas del subsuelo:

Límite Líquido: 60 a 110

Índice de plasticidad: 30 a 60

Clasificación: MH, MH-CH, CH (limos arcillosos y arcillas limosas inorgánicas de alta plasticidad).



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

Índice de Fluidez: Negativo o cercano a cero.

Expansión libre en el consolidómetro: 3% a más de 10%

Presión de Expansión: 0.5 kg/cm^2 a más de 8.0 kg/cm^2 .

Con el fin de investigar el proceso de contracción volumétrica del suelo, el autor rutinariamente realiza en el laboratorio pruebas de contracción lenta a muestras de tubos Shelby, dejándolas secar a temperatura ambiente hasta el límite de contracción; diariamente se registra la variación del diámetro, la altura y el peso de la probeta de ensayo. Estas pruebas permiten cuantificar la contracción unitaria lineal del suelo por grado de humedad perdida. En las zonas con patologías severas este parámetro generalmente es mayor de 0.40%.

El nivel freático, en general, se encuentra a profundidades mayores de 3.0 m. El espesor de la capa activa varía entre 2.0 y más de 4.0 m, dependiendo de la posición del nivel freático y especialmente del tipo de vegetación en desarrollo y su cercanía a la edificación. La variación estacional de los niveles freáticos es importante solamente en las zonas próximas a algunas fuentes de agua de niveles potencialmente variables durante un período de tiempo considerable (el Río Cauca, por ejemplo).



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

Clima y vegetación: desecación del subsuelo

Existen microclimas en la ciudad de Cali. En el norte de la ciudad el promedio anual de las precipitaciones es del orden de 1.400 mm, mientras que en el sur es de 1000 mm. Las lluvias mínimas normalmente se registran en los meses de enero, febrero, julio y agosto. En estos meses la evapotranspiración generalmente excede a la precipitación, y la desecación del subsuelo es notoria: los pastos se resecan, el terreno se agrieta superficialmente y los incendios forestales son de continua ocurrencia.

La temperatura promedio mensual varía entre 23 y 26°C y el brillo solar promedio mensual, entre 3 y 7 horas. El índice de humedad de Thornthwaite es negativo o cercano a cero. El clima corresponde, según la clasificación de la "Federal Housing Administration" (1968), a la categoría de "desfavorable".

Para la siembra de árboles ornamentales en patios, antejardines, andenes y separadores viales, no se han tenido en cuenta ni las características geotécnicas del subsuelo ni la vulnerabilidad de las edificaciones a los asentamientos diferenciales provocados por la desecación no uniforme del terreno de cimentación (Villafañe 1988).

Es un hecho comprobado en patología y geotecnia que al urbanizar y

FACULTAD DE INGENIERIA



Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

arborizar un terreno se produce su lenta desecación con un descenso de los niveles freáticos (Serrano 1988). Las aguas en los techos y áreas cubiertas se canalizan hacia los colectores. Los niveles de evapotranspiración aumentan a medida que los árboles ornamentales se desarrollan, y consecuentemente el contenido de agua del subsuelo se reduce ocasionando contracción ó reducción generalmente no uniforme de su volumen.

La gran mayoría de los casos de patología de edificaciones consultados al autor y mostrados en este evento, tienen relación directa con hundimientos diferenciales del terreno de cimentación, fenómenos en los que la desecación no uniforme del subsuelo ha sido acelerada por la siembra de árboles ornamentales a distancia por lo general menores de 10 m de la edificación. Estos fenómenos se manifiestan con mayor intensidad durante los años más secos y después de una prolongada estación sin lluvias (meses de septiembre y octubre).

Los árboles ornamentales que el autor ha identificado como desecadores importantes del subsuelo, son: Acacias, Eucaliptus, Chiminangos, Mangos, Mamoncillos. No se descartan los Samanes, Ceibas, Ficus y demás especies que debido a su talla y altura requieren de grandes cantidades de agua para su desarrollo.



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad
del Valle

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

El autor estima que en terrenos de alto potencial contracto-expansivo, uno de los árboles citados puede ocasionar un desbalance promedio de humedad de cinco (5) grados en una capa del subsuelo de unos 4.0 m de espesor. Para un índice típico de contracción unitaria lineal del subsuelo de 0.50 %, el hundimiento del terreno puede llegar a

$$= \frac{0.50}{100} \times 5 \times 400 = 10 \text{ cm.}$$

A unos 10 m hacia el interior de la edificación generalmente el efecto de desecación es mínimo y la distorsión angular es, en varios de los casos analizados, de 1/100.

El autor ha obtenido buenos resultados removiendo selectivamente los árboles ornamentales próximos a las edificaciones (Villafañe 1988). La succión en el subsuelo se reduce considerablemente, la presión efectiva aumenta y el terreno recupera su humedad. En algunos casos después de la tala, las edificaciones se han movido en sentido contrario al hundimiento registrado durante el proceso de desecación.

Cimentación y Estructura

Tradicionalmente en la ciudad de Cali las edificaciones livianas se construyen con estructuras de mampostería autoportante, apoyadas sobre cimientos lineales, por debajo de la capa vegetal, a una profundidad generalmente no mayor de 1.0 m. Estas edificaciones, comúnmente



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

cimentadas en la capa activa, han sido muy vulnerables a los movimientos diferenciales de sus cimientos superficiales, especialmente por la falta de amarre entre sus muros y cimientos. Su nivel de daño es generalmente muy severo (Building Research Establishment-BRE-1981).

Actualmente los proyectos masivos de vivienda y la construcción en serie popularizaron los sistemas de cimentación lineal y losas de cimentación sobre rellenos de suelos residuales, productos de la descomposición de las rocas diabásicas y comúnmente denominados "rocamuerta". Estos rellenos generalmente se construyen después de retirar la capa vegetal, pero en algunos casos se colocan sobre ésta, lo cual hace que la profundidad de cimentación sea negativa o cero. Como en estos sistemas estructurales se integra mejor que en el caso anterior la cimentación y la estructura y se amarran los muros, especialmente debido a los requisitos de diseño sismo-resistente del Decreto 1400 (1984), su daño ha sido moderado (BRE 1981) ya que aún las deformaciones de las capas más superficiales del subsuelo (0.0 a 1.0 m) también contribuyen a su fisuramiento progresivo.

El autor ha encontrado que estructuras rígidas de muros de concreto vaciados en sitio, cimentadas superficialmente, giran monolíticamente y el nivel de daño de sus muros es leve (BRE 1981). En la medida en que los cimientos son más profundos, por ejemplo en edificios con



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

semisótanos ó sótanos, los fisuramientos se reducen y llegan a ser casi imperceptibles.

En casos especiales, para edificios industriales, se han construido por recomendación del autor edificaciones livianas sobre losas superficiales rigidizadas con vigas de peraltes poco usuales (mayores de 0.50 m), o sobre pilotes de concreto excavados y vaciados en sitio, de 0.30 m de diámetro, apoyados en estratos subyacentes a la capa activa, a profundidades entre 4.0 y 6.0 m. Su comportamiento ha sido satisfactorio, pero su costo es muy alto, especialmente si estos sistemas se adoptan para vivienda de clase media a popular.

Aceras y andenes perimetrales

La falta de protección perimetral de una edificación favorece la desecación del subsuelo en la estación seca y contribuye a la acumulación e infiltración de aguas durante la estación de lluvias.

Patologías severas corresponden a edificaciones en las que por lo menos dos de sus fachadas están expuestas a la intemperie (casas de esquina o edificaciones en condominios con abundantes zonas verdes perimetrales).



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

El autor ha obtenido buenos resultados cubriendo con andenes las áreas de antejardines, en anchos entre 3.0 y 4.0 m, y mejorando, por tanto, las condiciones de drenaje y evapotranspiración. Especialmente conviene cubrir las áreas de las fachadas que quedan expuestas al sol después del mediodía.

Redes del acueducto y alcantarillado

Las contracciones y expansiones volumétricas del subsuelo afectan progresivamente las tuberías del acueducto y alcantarillado. Estos movimientos ocasionan fugas que inducen aumentos de humedad, los cuales generan altas presiones de expansión en el interior de la edificación, levantan sus pisos e incrementan el giro hacia el exterior de muros y cimientos producido por la desecación debida al clima y la vegetación más próxima.

En algunos casos, las fugas de las tuberías del acueducto y alcantarillado juegan un papel importante en las causas del deterioro de las edificaciones. A pesar de que la tecnología del PVC está ampliamente difundida, para estas edificaciones aún se construyen alcantarillados con tubos de gres, con un gran número de uniones y por lo tanto de sitios de fugas potenciales, conectados a cajas construídas con ladrillos de arcilla, muy vulnerables a movimientos diferenciales del terreno.



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

Variaciones de los gradientes térmicos

Cuando se construye un edificio, especialmente durante una temporada de intenso verano, el área cubierta queda protegida de la evapotranspiración predominante. La temperatura del subsuelo desciende algunos grados, lo que da lugar a condensaciones del vapor de agua de sus vacíos más superficiales y a una reducción de las fuerzas de succión. Por termósmosis se produce una migración lenta de vapor de agua desde los bordes no cubiertos hacia el centro del edificio, ocasionando expansiones del terreno y levantamientos más notorios en el centro que en los bordes (CENCO 1988).

El calor de los hornos y calderas, instalados especialmente en edificaciones industriales, aumenta la temperatura del subsuelo y contribuye a su desecación no uniforme. Este es, por tanto, otro de los factores que se deben tener en cuenta en patología de edificaciones en arcillas expansivas.

Reparaciones, recalces y submuraciones

Las reparaciones de las edificaciones cimentadas superficialmente, lesionadas por los movimientos diferenciales del terreno, generalmente se llevan a cabo sin realizar los estudios geotécnicos que investiguen



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

las causas de sus daños.

Se realizan recalces de los cimientos superficiales, consistentes en incrementar su área con el fin de disminuir la presión efectiva sobre el suelo. En los casos en que la causa de las lesiones sea la expansión del subsuelo debida a aumentos de su contenido de agua, las fuerzas sobre los cimientos recalzados serán mayores y se le puede hacer más daño a la edificación que beneficio. Cuando el fenómeno es de contracción diferencial del subsuelo, por desecación progresiva, el cimiento ampliado continúa hundiéndose con el terreno, a menos que su rigidez y la de la estructura le permita soportar las cargas sin quedar apoyado sobre el suelo (bordes de la edificación en voladizo).

También se llevan a cabo submuraciones para transferir las cargas a estratos mas profundos, unas veces consistentes en marcos de vigas, columnas y zapatas construídas bajo los cimientos existentes, y en otros casos mediante pilas y pilotes que generalmente quedan apoyados en la capa activa del subsuelo. Los rellenos colocados alrededor de estas submuraciones generalmente no se construyen adecuadamente, por lo cual la infiltración de aguas o la evapotranspiración se realiza más fácilmente a través de ellos y los daños de la edificación continúan manifestándose.

FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes conclusiones y recomendaciones están basadas en experiencias del autor en patología de edificaciones de la ciudad de Cali:

- 1. Los casos más frecuentes de daños severos de edificaciones corresponden a fenómenos de inestabilidad estructural ocasionados por movimientos diferenciales de las cimentaciones superficiales apoyadas en suelos de alto potencial contracto-expansivo y parcialmente saturados. Otros casos de menor ocurrencia son debidos a: Influencia de construcciones vecinas, cimentación en laderas inestables, sobre rellenos mal compactados, en suelos blandos de muy baja capacidad portante y, finalmente, la mala calidad del diseño estructural, los materiales y la ejecución de las obras.*
- 2. Antes de someter una edificación fisurada o agrietada a costosas reparaciones, recalces y submuraciones, se recomienda realizar una investigación geotécnica que estudie la información disponible, analice e interprete los síntomas, investigue sus condiciones geotécnicas actuales y decida las medidas correctivas.*
- 3. La historia del fenómeno y el seguimiento cronológico de las fisuras*



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

y grietas son muy importantes para un diagnóstico preliminar acertado. En muchos casos la morfología de los agrietamientos indica los movimientos diferenciales que ha sufrido la edificación (Logeais 1984, Mañá 1978). Sin embargo, hay casos en que la interpretación de un estado de fisuración es difícil, sobre todo cuando en el fenómeno se superponen varias causas.

4. Los principales factores que ocasionan los movimientos diferenciales de los cimientos superficiales y el deterioro progresivo de una edificación son el alto potencial contracto-expansivo del subsuelo y la falta de protección contra su desecación diferencial, en algunos casos, contra su saturación durante la estación lluviosa. Algunos factores adicionales como las variaciones del nivel freático, las fugas de las tuberías del acueducto y alcantarillado y las variaciones de los gradientes térmicos también pueden llegar a ser importantes.

5. En muchos casos los movimientos de los cimientos se manifiestan en descensos de los bordes de la edificación próximos a las zonas verdes que tienen árboles ornamentales en desarrollo. El terreno parcialmente saturado, con bajos niveles freáticos, se deseca gradualmente y se hunde diferencialmente. La estructura y los muros de cerramiento, que pocas veces se diseñan para esas hipótesis de carga, no resisten las tensiones y compresiones adicionales y conjuntamente se fisuran y agrietan.



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

6. Con menor frecuencia se manifiestan levantamientos de los bordes y/o del centro de la edificación, debidos a la saturación del subsuelo durante la estación lluviosa o por fugas de las tuberías del acueducto y alcantarillado. Cuando estos fenómenos se combinan, la morfología de los agrietamientos es complicada.

7. El estado actual del conocimiento nos permite identificar y cuantificar el potencial de expansión de los suelos y hacer predicciones teóricas sobre los movimientos esperados del terreno. Con base en las condiciones del clima y las experiencias locales se pueden determinar la profundidad y tipos de cimentación y estructuras recomendables en los suelos de alto potencial contracto-expansivo, las protecciones perimetrales necesarias, el tipo de redes de acueducto y alcantarillado y los árboles ornamentales que pueden permitirse en la vecindad de las edificaciones con el fin de minimizar los daños y su deterioro progresivo.

REFERENCIAS

Building Research Establishment (1981). "Assessment of damage in low-rise buildings, with particular reference to progressive foundation movement." Digest 251, London: HMSC.



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

Federal Housing Administration, and BRAB (1968). "Criteria for selection and design of residential slab-on-ground." Publication number 1571, Building Research Advisory Board, Washington D.C.

Holtz, W.G., and Gibbs, H.J. (1954). "Engineering properties of expansive clays." Proceedings, ASCE, Vol.80.

Instituto de la Construcción Eduardo Torroja (1988). "CENCO 88- Area de patología." Apuntes de clase.

Jones, D.E., Jr. (1976). "The expansive soil problem." Proceedings of the Symposium on Expansive Soils, Geological Society of America, November.

Jones, D.E. Jr., and Holtz, W.G. (1973). "Expansive soils - the hidden disaster." Civil Engineering, August, Vol.43, Nº 8.

Johnson, L.D. and Stroman, W.R. (1976). "Analysis of behavior of expansive soil foundations." Technical Report S-76-8, United States Army Engineering Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., June.

Krohn, J.P., and Slosson, J.E. (1980). "Assessment of expansive



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

soils in the United States." Proc., Fourth International Conference on Expansive Soils, Denver, Co.

Lytton, R.L., Bogess, R.L., and Spotts, J.W. (1976). "Characteristics of expansive clay roughness of pavements." Transportation Research Record 568, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp 9-23.

Logeais, L. (1984). "Patología de las cimentaciones." Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona.

Maffá, F. (1978). "Patología de las cimentaciones." Editorial Blume, Barcelona.

M^CDowell, C. (1956). "Interrelationships of load, volume change and layer thickness of soils to the behavior of engineering structures." Proceedings, Highway Research Board, 1956, pp 754-772.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (1984). "Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes." Decreto 1400 de junio 7 de 1984, Bogotá.

M^CKeen, G., and Johnson, L.D. (1990). "Climate-Controlled soil design parameters for mat foundations." Journal of the Geotechnical



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

Engineering Division, ASCE, Vol. 116, N° 7, July, pp.1073-1094.

Post-Tensioning Institute (1978). "Design and construction of post-tensioned slabs on grade." Phoenix, Ariz., October.

Seed, H.B., Woodward, R.J., and Lundgren, R. (1962). "Prediction of swelling potential for compacted clays." Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, Vol.88, N° SM4, July, pp.107-131.

Serrano, F. (1988). "Patología de las cimentaciones." Edita Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid." Madrid.

Thorntwaite, C.W. (1948). "An approach towards a rational classification of climate." Geographical Review, Vol. 38, pp. 55-94.

Villafañe, G. (1988). "Asentamientos diferenciales en edificaciones sobre suelos arcillosos: ¿podemos seguir ignorándolos?" Quintas Jornadas Geotécnicas, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá.

Vijayvergiya, N.V., and Ghazzely, O.I. (1973). "Prediction of swelling potencial for natural clays." Proceedings of the Third International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, pp. 227-234.



FACULTAD DE INGENIERIA

Departamento Mecánica de Sólidos y Materiales

Wray, W.K. (1980). "Analysis of stiffened slabs-on-ground over expansive soil." Proceedings of the Fourth International Conference on Expansive Soils, Denver, Co., pp.558-581.