

**COMPORTAMIENTO GEOTECNICO - ESTRUCTURAL DE LAS  
CONSTRUCCIONES DE UNO Y DOS NIVELES**

**PRIMERA PARTE  
ASPECTOS GEOTECNICOS**

**JAIME SUAREZ DIAZ**

**I.C. MSC.**

**Profesor Departamento de Ingeniería Civil**

**Universidad Industrial de Santander**

**Bucaramanga - Colombia**

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

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA**

**Santafé de Bogotá, septiembre de 1993**

**COMPORTAMIENTO GEOTECNICO-ESTRUCTURAL DE LAS CONSTRUCCIONES DE UNO  
Y DOS NIVELES. Primera parte - Aspectos Geotécnicos**

**JAIME SUAREZ DIAZ IC. M.SC.**  
**Profesor Departamento de Ingeniería Civil**  
**Universidad Industrial de Santander**

**RESUMEN**

En el caso de las estructuras de uno y dos niveles los movimientos del terreno de cimentación controlan su comportamiento más que los valores de las cargas aplicadas. Los principales problemas son los asentamientos por colapso en suelos naturales y rellenos deficientemente compactados, las expansiones y contracciones en razón a los cambios climáticos y a la acción de los árboles, y las solicitudes sísmicas.

Aunque las solicitudes geotécnicas obedecen a fenómenos naturales, las leyes que los rigen están conformadas por elementos que se pueden cuantificar y existen metodologías probadas para controlarlos.

Actualmente el estado del arte presenta teorías que permiten analizar los mecanismos de los problemas pero aún se requiere investigación para determinar parámetros para el diseño, requiriéndose un trabajo interdisciplinario que incluye especialmente a los Arquitectos y a los Ingenieros Geotécnicos y Estructurales.

## **1. INTRODUCCION**

Las estructuras de poca altura y gran extensión son muy susceptibles a sufrir daños por efecto de los movimientos diferenciales del suelo de cimentación en razón a su naturaleza estructural y a la poca profundidad de cimentación.

En Colombia un gran porcentaje de las construcciones de vivienda son estructuras de uno y dos niveles y se han presentado gran cantidad de problemas que comprometen los enfoques actuales geotécnico - estructurales y se requiere analizar la patología de estos para encontrar metodologías de diseño que permitan prevenirlos.

Este trabajo pretende estudiar los mecanismos generales de los problemas más comunes y analizar la patología de las estructuras utilizadas en el país para vivienda popular.

En la primera parte se presenta un bosquejo de los diversos tipos de problemas geotécnicos y en la segunda el comportamiento de las estructuras ante estas solicitudes.

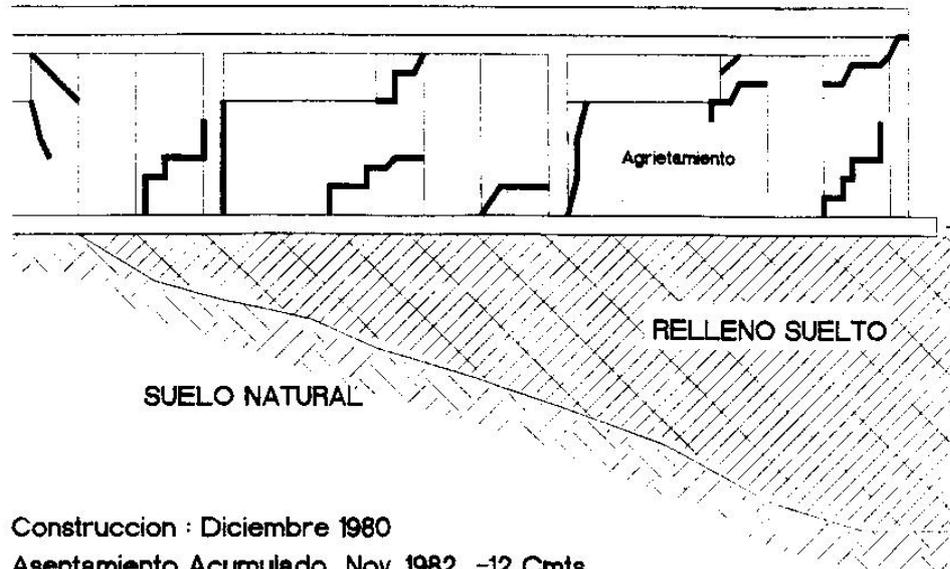
## **2. ASENTAMIENTOS DEL SUELO DE CIMENTACION POR COLAPSO AL CAMBIO DE HUMEDAD**

Es común que se cimente estructuras sobre suelos que sufren asentamientos por el solo aumento de la humedad, independientemente del valor de las cargas aplicadas.

Generalmente se presentan dos casos diferentes así:

- a. Suelos colapsibles (suelos granulares que por su misma estructura se asientan al saturarse).
- b. Rellenos (suelos colocados por el hombre) compactados en forma deficiente o sin compactación alguna o rellenos de residuos de diversa índole.

En estos casos al aumentar la humedad natural del terreno de cimentación se pueden producir asentamientos importantes sin que se requiera la existencia de carga estructural.



Construcción : Diciembre 1980  
Asentamiento Acumulado Nov. 1982 -12 Cmts  
Dic. 1988 -16 Cmts  
May.1993 -19 Cmts  
Profundidad Maxima de Relleno 4.5 Metros

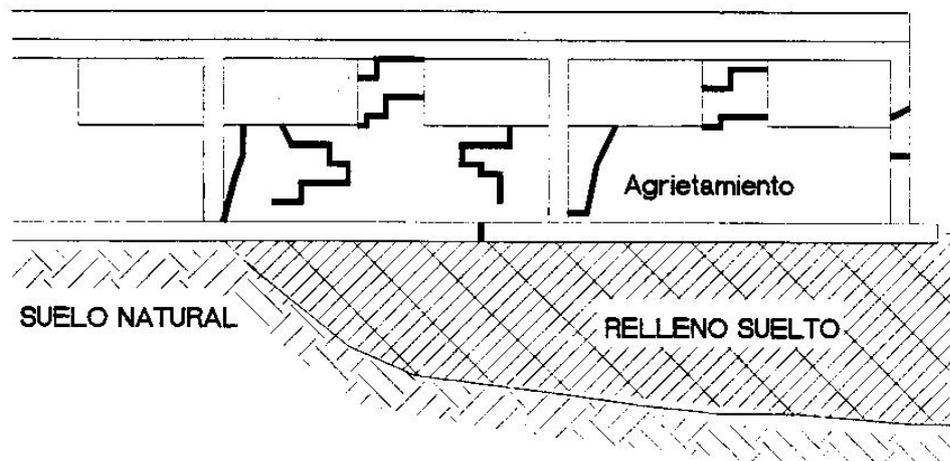


FIG. 1. Diagrama de los Agrietamientos de la Mamposteria en una Construcción de un Nivel en Surata-Santander

El asentamiento puede ser progresivo con los cambios cíclicos de humedad y en algunos casos se ha logrado medir asentamientos diferenciales hasta de 22 centímetros en rellenos sin compactar; este es particularmente grave en suelos arenarcillosos ( SC y SM) de origen residual y no hay una teoría confiable para predecir las cantidades y el tiempo de los asentamientos. Los problemas pueden ser detectados con anterioridad mediante ensayos de densidad de campo o de penetración estandar.

En lo referente a los suelos colapsibles de origen natural su presencia es común en suelos residuales y aluviales en áreas tropicales. Generalmente se trata de granos de suelo cementados con óxidos de hierro y/o arcillas solubles en agua, los cuales forman una estructura porosa estable a humedades normales pero que sufren asentamiento al saturarse. El asentamiento depende no solo de la naturaleza y humedad de suelo sino también del valor de las cargas aplicadas. El valor de los hundimientos y la susceptibilidad al colapso se pueden predecir mediante ensayos de carga en consolidómetro saturando y analizando la curva de asentamientos.

### **3. PROCESOS DE EXPANSION Y CONTRACCION DEL SUELO DE CIMENTACION**

Los movimientos diferenciales aparecen como un resultado de la variación del contenido de agua en los primeros metros más superficiales del terreno en razón a los cambios climáticos y ambientales. A esta se le llama "Zona activa" (figura No. 2) y su espesor varía generalmente de 1 a 3 metros.

La humedad en la zona activa varía con los cambios climáticos generando procesos de expansión y contracción (figura No. 3).

Adicionalmente existe un área o distancia horizontal activa partiendo del perímetro de construcción expuesta a los cambios climáticos.

Es importante que los Ingenieros Geotecnistas y Estructurales definan las áreas activas y los valores y forma de los movimientos de fluctuación de acuerdo a las condiciones específicas del suelo y la estructura en cada caso y el diseño tenga en cuenta estos parámetros.



**DESLIZAMIENTO**  
(Herran - Norte de Santander)



**EXPANSION POR CUBRIMIENTO**  
**DE AREA DE EVAPOTRANSPIRACION**

Observe la forma y localización del agrietamiento.

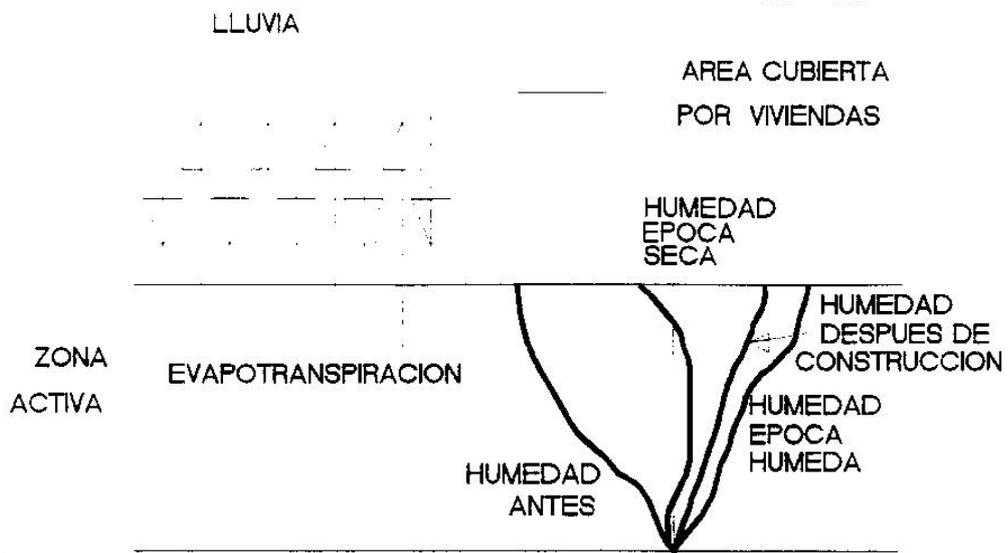


FIG. 2 Variacion de humedad en el suelo bajo las viviendas

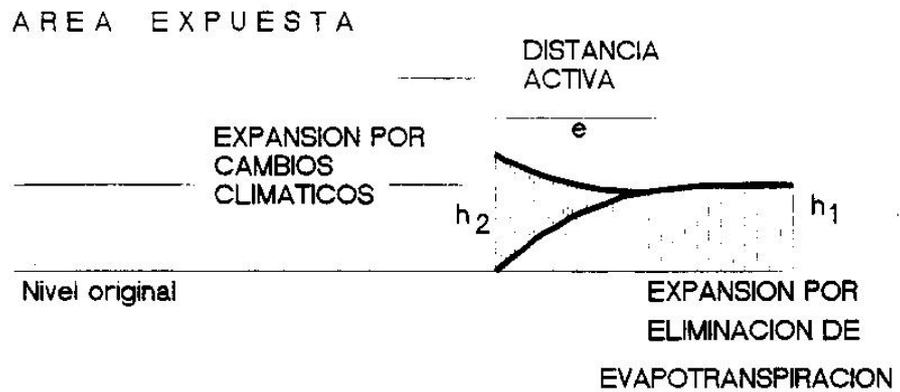


FIG. 3 . Movimientos Diferenciales Por Expansion y Contraccion del Suelo

Existen dos procesos de expansión así:

#### A. EXPANSION POR ELIMINACION DE EVAPOTRANSPIRACION

Esta ocurre en el centro del área construida y según Lytton (1972) es la que produce distorsiones más severas a largo plazo.

#### B. EXPANSION DEL BORDE DE CONSTRUCCION POR CAMBIOS CLIMATICOS

Este es el caso de procesos de expansión por lluvias, riego, etc. y la expansión y contracción por exceso o déficit de humedad durante los ciclos de cambios climáticos (figura No. 6).

La expansión definitiva es un proceso de levantamientos y contracciones debidas a los dos efectos combinados.

### 4. PERFILES DE EXPANSION

Los perfiles de la curva de movimiento dependen de las características de carga y rigidez de la estructura. Un diseño refinado puede predecir la forma y altura máxima de los movimientos en cada caso específico (figura No. 4).

Se deben determinar los siguientes factores:

- a. Expansión diferencial máxima
- b. Distancia horizontal de variación de humedad
- c. Forma de la curva de expansión.

La expansión diferencial máxima puede determinarse por los métodos de expansión en Consolidómetro o succión del suelo. Las observaciones de campo muestran que la expansión real varía del 33 al 100% de los máximos calculados (Holland - 1984, Poor - 1978, Donaldson-1973).

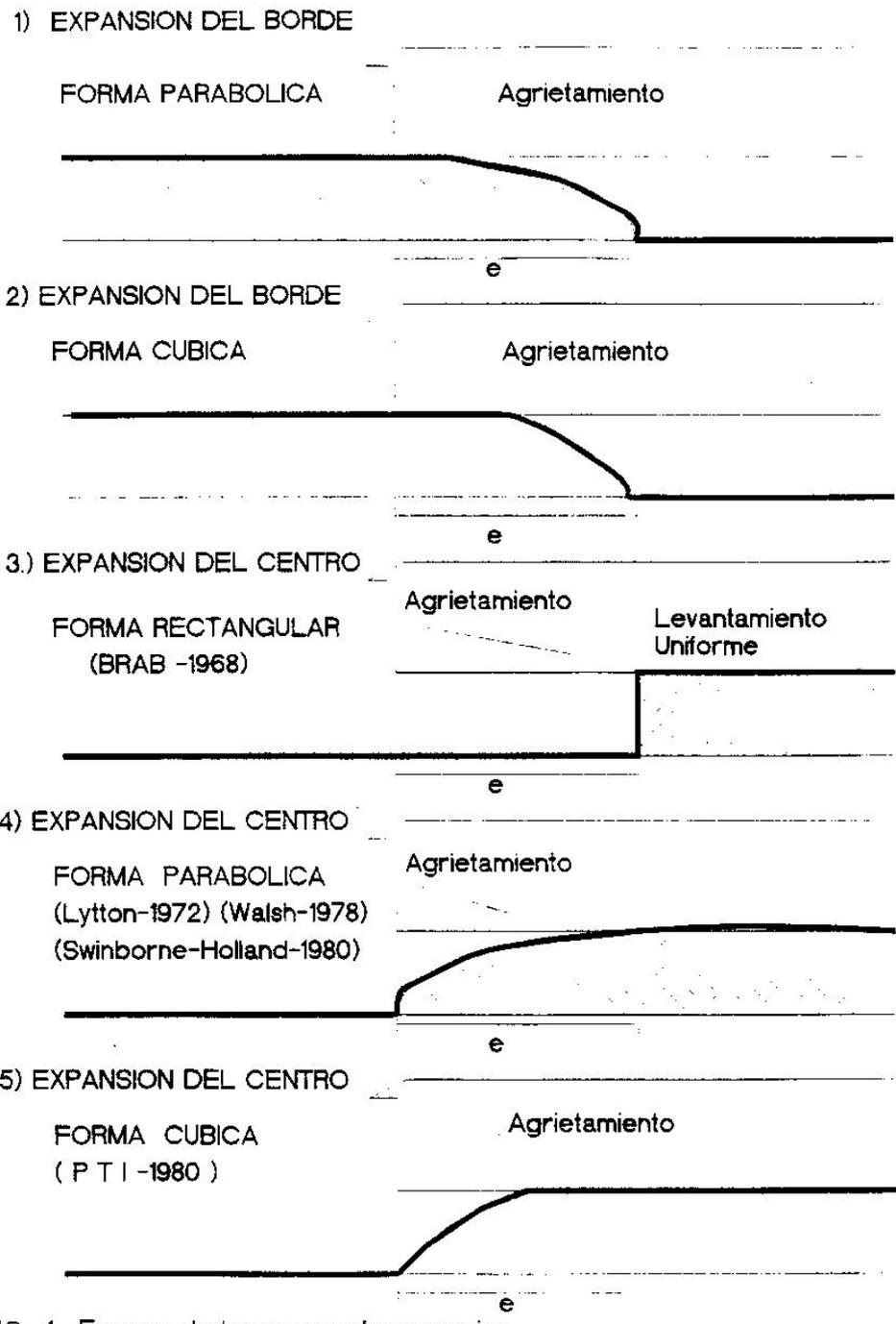


FIG 4. Formas de las curvas de expansion

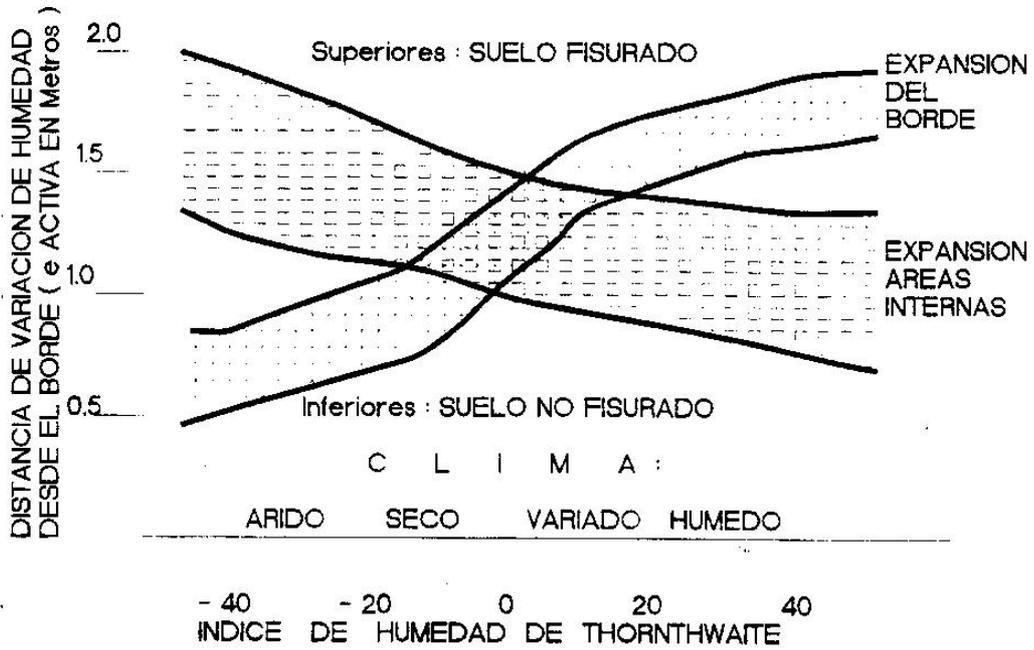


FIG 5 Curvas de Distancia Horizontal Activa de Expansion (Wray-1978)

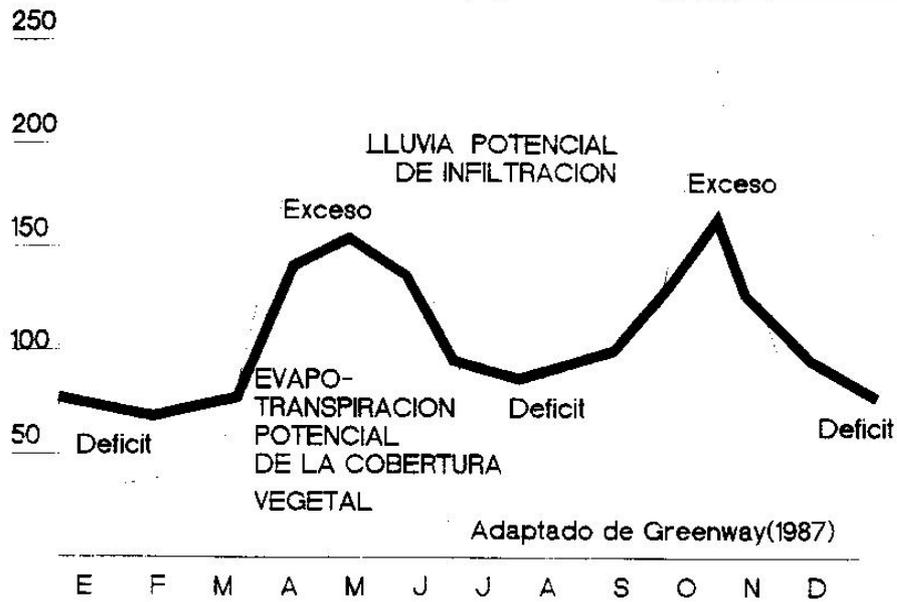


FIG. 6 Lluvias y Potencial De Evapotranspiracion de Areas cubiertas Por Pastos en un ambiente Tropical -Calido -de Humedad Variada.

La distancia horizontal de influencia o de variación de humedad es difícil de estimar con aceptable precisión. Existen métodos empíricos basados en el índice de humedad de Thornthwaite (figura No. 5) o en el índice de soporte (BRAB - 1968). Esta distancia varía generalmente entre 1 y 2 metros acercándose en ocasiones al valor de la profundidad activa. La forma de la curva de expansión puede suponerse rectangular, parabólica o cúbica de acuerdo a criterios que dependen de las propiedades del suelo, del clima y de las características de la estructura (figura No. 4).

##### **5. PROCESO DE HUNDIMIENTO DEL TERRENO POR ACCION DE LOS ARBOLES**

Las raíces de los árboles extraen humedad del suelo y en consecuencia se produce un asentamiento en un proceso progresivo de contracción. Sargunan et al - 1991 reportan disminuciones en la humedad del 5 al 26% por acción de Samanes y Eucalyptus en la India.

La contracción se recrudece en épocas secas porque las raíces tienden a buscar la humedad retenida por la limitación a la evapotranspiración debajo de las áreas construidas.

Uriel et al (1991) observaron que la distancia de influencia para una hilera de acacias de 7 metros de altura era de aproximadamente 10 metros.

Generalmente se recomienda aislar las construcciones 1.5 veces la altura de los árboles. Los trabajos de investigación de este tema en el momento están aumentando y en poco tiempo se deben tener metodologías precisas para el análisis del fenómeno.

El problema es particularmente delicado en árboles de raíz profunda y altas tasas de evapotranspiración. Un ejemplo es el Eucalipto del cual se han reportado profundidades de raíz de 22 metros (Coatsworth y Evans - 1984) y 27.5 metros (Williams y Pidgeon - 1983) y tasas de evapotranspiración de 500 litros-día. Otros evapotranspiradores son las acacias, Chiminangos, Mangos, Maroncillos, Samanes, Ceibas y Ficus (Villafañe 1991).

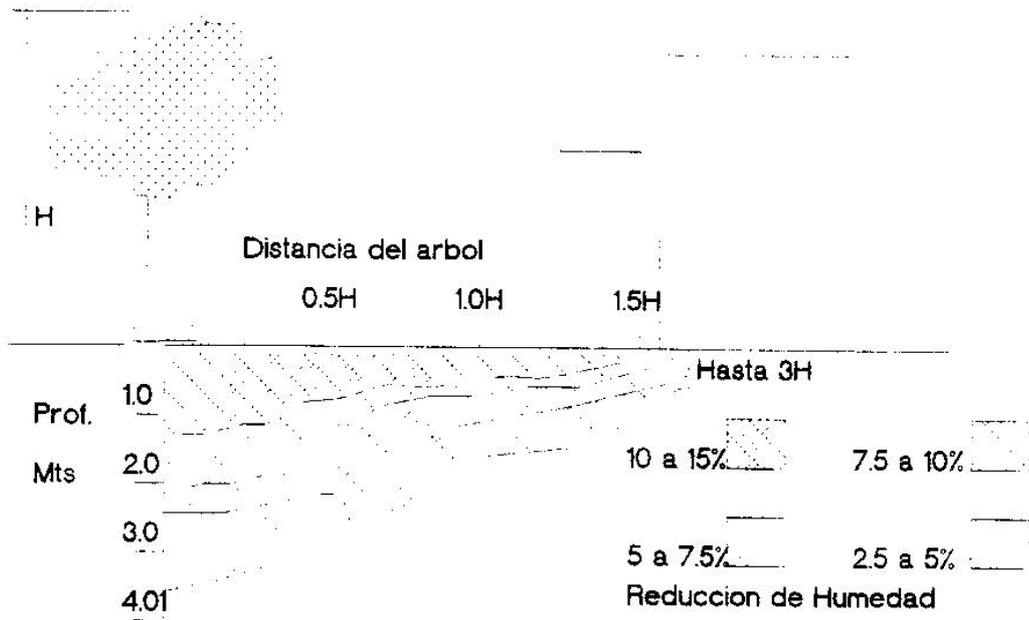


FIG. 7 Reduccion de humedad por accion de un arbol en la arcilla de Londres (Poplar tree) Segun Biddle-1983 - Geotechnique 33

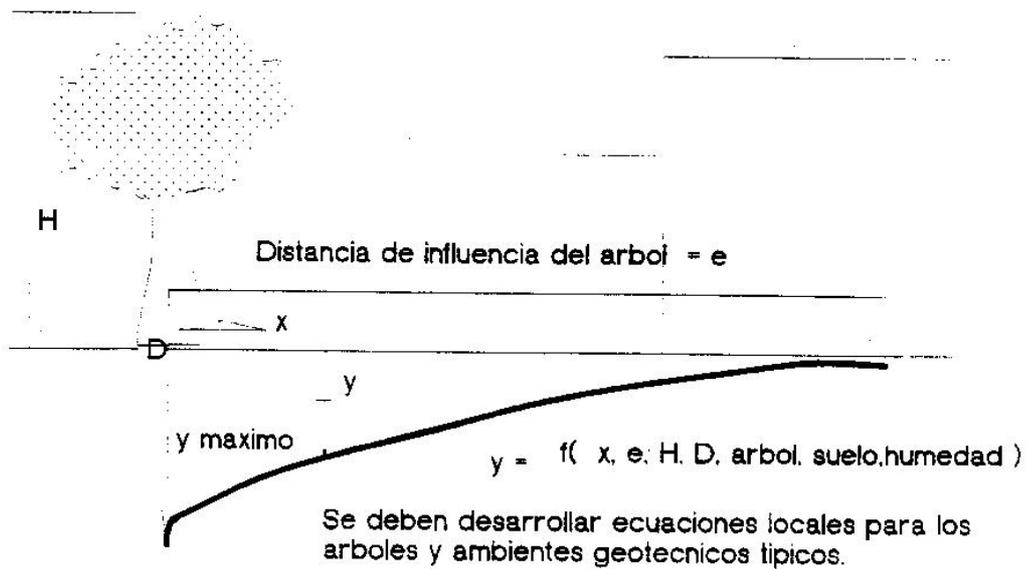


FIG. 8 Esquema de los asentamientos Producidos por Arboles de ratas altas de evapotranspiracion.

## **6. ASENTAMIENTOS POR CARGA**

Para el análisis de los asentamientos por carga se han desarrollado dos teorías así:

### **1. Consolidación**

Asentamiento plásticos generados por el desplazamiento del agua de los poros por acción de la carga.

### **2. Teoría elástica**

Asentamientos debidos a la deformación elástica de los materiales del suelo.

Para ambos casos existen en la literatura técnica procedimientos relativamente precisos para determinar los asentamientos debidos a la carga de acuerdo a las características del suelo de cimentación.

Generalmente el resultado es la definición de un ancho de cimentación y detalles de la estructura de cimentación para controlar los asentamientos totales generados por la carga.

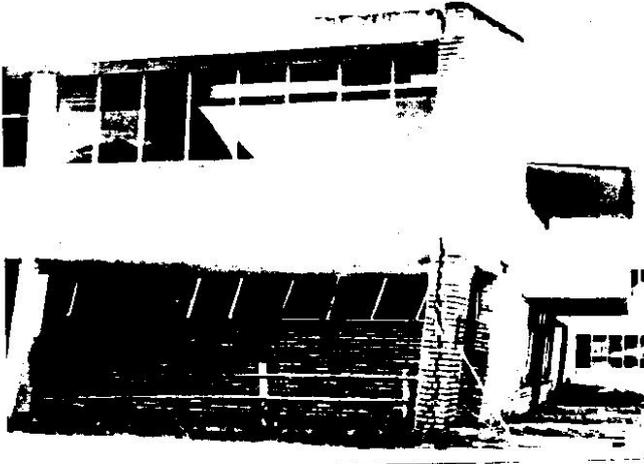
Sin embargo la mayoría de los problemas debidos a los asentamientos por carga en construcciones de poca altura son debidos a asentamientos diferenciales relacionados con la heterogeneidad de los materiales de cimentación. Estos pueden prevenirse mediante una detallada caracterización geotécnica y una configuración estructural adecuada. En suelos residuales es muy importante que las investigaciones geotécnicas tengan un buen cubrimiento del área a construirse y se detecten las diferencias del comportamiento de los suelos y estos resultados sean tenidos en cuenta en el proyecto por parte de los Arquitectos e Ingenieros estructurales.

## **7. SOLICITACIONES SISMICAS**

El efecto de los sismos sobre las construcciones de poca altura depende de las características dinámicas de las estructuras y del movimiento sísmico y es afectada además, por la topografía del terreno y la heterogeneidad del suelo. El problema es muy complejo por la dificultad para evaluar las características dinámicas de la estructura, compuesta por elementos estructurales y

**COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE DOS NIVELES DEL INEM  
SISMO DE POPAYAN**

13



**FALLAMIENTO GENERAL**



**FALLA TIPICA DE COLUMNAS EN  
SITIOS DE VENTANALES SUPERIORES  
CONTINUOS**



**FALLA TIPICA DE COLUMNAS EN  
SITIOS DE MAMPOSTERIA SIN  
VENTANAS**

**MANUAL RESUMIDO DEL COMPORTAMIENTO GEOTECNICO-ESTRUCTURAL  
DE CONSTRUCCIONES DE UNO Y DOS NIVELES**

| PROBLEMA  | MECANISMO   | FORMA DE DETECTARLO   | PARAMETROS ADICIONALES MINIMOS A DETERMINAR EN EL ESTUDIO GEOTECNICO  | SOLUCIONES GEOTECNICAS Y ESTRUCTURALES  |
|---|---|---|---|---|
| COLAPSO DE RELLENOS SIN COMPACTAR   | EL SUELO SE DENSIFICA POR CAMBIO DE HUMEDAD   | ENSAYOS DE DENSIDAD DE CAMPO, ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR O DE CONO  | % DE DENSIDAD PROCTOR, ESPESOR DE RELLENOS SUELTOS  | LEVANTAR Y RECOMPACTAR EL RELLENO, CIMENTACIONES PROFUNDAS  |
| QUELLOS COLAPSIBLES   | EL SUELO COLAPSA AL AUMENTAR LA HUMEDAD   | ENSAYOS DE CARGA EN CONSOLIDOMETRO CON SATURACION REPENTINA   | CURVAS DE COLAPSO, VALORES DEL ASENTAMIENTO POR COLAPSO EN CASO DE SATURACION CON LOS NIVELES DE CARGA DE LA CIMENTACION  | PRE-COLAPSO POR SATURACION INSPECTAR COLAPSO O QUELLOS RIGIDIZAR Y REFORZAR CIMENTOS Y ESTRUCTURAS  |
| SUELOS EXPANSIVOS (EXPANSION Y CONTRACCION)                                       | EL SUELO SE EXPANDE AL ELIMINARSE EL AREA DE EVAPOTRANSPIRACION Y SUFRE PROCESOS DE HINCHAMIENTO Y CONTRACCION CON LOS CAMBIOS CLIMATICOS | ENSAYO DE SUCCION O DE EXPANSION ANALISIS MINERALOGICO DE LAS ARCILLAS ANALISIS DE HUMEDADES Y DEL PERFL ACTIVO   | PRESION DE EXPANSION AL SATURARSE VALORES MAXIMOS DE EXPANSION CON LOS NIVELES MAXIMOS DE CARGA DE CIMENTACION, PROFUNDIDAD ACTIVA AREA ACTIVA (DISTANCIA HORIZONTAL DE INFLUENCIA) | REEMPLAZO DEL SUELO INUNDACION, COMPACTAR A HUMEDAD ALTA, MEZCLAR EL SUELO CON CAL, ALMOZAR, CEMENTO, CENIZAS O COMPUESTOS ALTERNATIVOS, CEMENTACION, BARRERAS DE CONTROL DE HUMEDAD, DRENAJE, TRATAMIENTO ELECTROQUIMICO O TERMICO, JARDINES, ELIMINAR ARBORES, ELIMINAR ZONAS VERDES Y JARDINES |
| ASENTAMIENTO POR ARBOLES DE POTENCIAL ALTO DE EVAPOTRANSPIRACION                  | LOS ARBOLES EXTREMEN LA HUMEDAD DEL SUELO PRODUCIENDO CONTRACCIONES   | ENSAYOS DE CONSOLIDACION ENSAYO DE % DE HUMEDAD Y PERRILES DE CONTENIDO DE AGUA ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE EVAPOTRANSPIRACION DE LOS ARBOLES O ESPECIES VEGETALES | DISTANCIA DE INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS DE HUMEDAD DE LA ESPECIE ARBOREA PARA EL SUELO DEL SITIO, CURVA APROXIMADA A ASENTAMIENTOS CON EL TIEMPO PARA LA ESPECIE ARBOREA             | NO SEMBRAR ARBOLES EVAPOTRANSPIRADORES: (Ej. Eucalipto, Pinus, Cedro, etc.) REFORZAR CIMENTACIONES CON BARRERAS IMPERMEABLES PROFUNDAS A PRUEBA DE RAICES, MANTENER UNA DISTANCIA PERMANENTE ENTRE LOS ARBOLES Y LA ESTRUCTURA (e= 1.5 h) CIMENTACION PROFUNDA                                    |
| ASENTAMIENTOS POR CARGA EN SUELOS BLANDOS   | EL SUELO SE CONSOLIDA POR ACCION DE LA CARGA  | ENSAYOS DE CONSOLIDACION PERFL GEOTECNICO   | APROXIMACION DE LOS ASENTAMIENTOS PARA LOS NIVELES DE CARGA DE LA CIMENTACION   | AUMENTAR AREA DE CIMENTACION PARA DISMINUIR PRESION RIGIDIZAR Y REFORZAR CIMENTACION Y ESTRUCTURA, CIMENTACION PROFUNDA   |
| ASENTAMIENTO DIFERENCIAL POR HETEROGENEIDAD DEL SUELO DE CIMENTACION              | CAMBIO BRUSCO DE CANTIDAD DE ASENTAMIENTO EN LOS SITIOS DE CAMBIO DE SUELO BLANDO A SUELO DURO  | ZONIFICACION GEOTECNICA MEDIANTE GRUPOS DE SONDEOS  | APROXIMACION DE LOS ASENTAMIENTOS, EXPANSIONES DIFERENTES DENTRO DEL PROYECTO   | JUNTAS ESTRUCTURALES EN LINEAS DE CAMBIO O JUNTAS CERCANAS CON UNIDADES INDICADAS, CIMENTOS A PROFUNDIDADES VARIABLES   |
|   | SE GENERAN FUERZAS DINAMICAS IMPORTANTES SOBRE LA ESTRUCTURA  | EVALUACION DE LA SISMICIDAD, CARACTERISTICAS DEL PERFL DE SUELO Y DEL COMPORTAMIENTO  | CARACTERISTICAS DEL SISMO ESPERADO CARACTERISTICAS DE LA RESPUESTA SISMICA DE LOS SUELOS DEL SITIO  | DISENO ESTRUCTURAL ADECUADO AL SISMO Y PROYECTO ARQUITECTONICO SISMORESISTENTE  |
| DESPLAZAMIENTOS, TURBONES, INUNDACIONES, ETC. (NO SON TEMAS DEL PRESENTE PARRAFO) |   |   | NOTA: EN TODOS LOS CASOS  | PROYECTO URBANISTICO, ARQUITECTONICO, ESTRUCTURAL, ETC. ADECUADOS A LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL LOTE.   |

elementos arquitectónicos; tales como la distribución de la ventanería y demás espacios libres. Fallas catastróficas como las de INEM de Popayán (Colombia) permiten afirmar que el diseño de los elementos de mampostería y los diversos factores no estructurales pueden determinar la falla de las estructuras de poca altura.

## **8. ASPECTOS ARQUITECTONICOS**

Los elementos arquitectónicos afectan en forma importante el comportamiento de las estructuras de uno y dos niveles. Se pueden indicar algunos de estos factores así:

### **a. Tipo de mampostería**

La mampostería maciza crea elementos estructurales rígidos, que impiden las deformaciones a compresión de los diversos paneles internos de las viviendas, evitando hasta ciertos niveles los agrietamientos pero acumulando los esfuerzos; y en ocasiones se producen tracciones trasladándose las deformaciones a puntos más alejados de la estructura. En forma similar actúan los muros armados fundidos en sitio. En casos de asentamientos severos se han presentado tracciones con rotura de elementos estructurales en puntos alejados de los hundimientos.

La mampostería no maciza le permite a la estructura deformarse para reacomodarse a los movimientos del terreno. Sin embargo no hay claridad sobre las ventajas de cada tipo de mampostería en lo referente al comportamiento sísmico de las estructuras de poca altura.

Se requiere en todos los casos que el diseño involucre la mampostería como elemento que afecta el comportamiento de la construcción.

**b. Localización de ventanas, puertas y otras discontinuidades**

Los espacios vacíos dentro de la mampostería permiten la concentración de esfuerzos en algunos puntos de los muros, creando puntos críticos y favoreciendo los agrietamientos. En la segunda parte del presente trabajo se muestra a detalle este fenómeno.

Es particularmente grave la construcción de ventanales horizontales continuos de poca altura en la parte alta de los muros, los cuales crean una discontinuidad que hace las estructuras muy susceptibles en el caso de sismos (caso Inem - Popayán).

**c. Instalaciones eléctricas, sanitarias, etc.**

La concepción de la mampostería como un elemento importante dentro del comportamiento de las construcciones de poca altura es comúnmente desconocida en el proceso de diseño y construcción de instalaciones eléctricas y sanitarias y se crean en ocasiones discontinuidades que facilitan un comportamiento inadecuado y no previsto.

## **9. ASPECTOS URBANISTICOS**

En el proyecto urbanístico de conjuntos de vivienda de poca altura es común que las limitaciones geotécnicas no sean tenidas en cuenta; en algunas ocasiones por falta de cubrimiento o detalle en los estudios de suelos y en otras por su desconocimiento por parte de los Arquitectos proyectistas.

Algunos de los errores urbanísticos comunes son los siguientes:

a. Las continuidades de la estructura de las viviendas en los sitios de cambios fundamentales del terreno de fundación. Se deben separar los grupos de casas (incluyendo separación de cimientos) por las líneas de cambio del terreno. Además es recomendable establecer patrones de juntas estructurales que incluyan los cimientos.

b. La localización de zonas verdes, jardinerías y demás áreas de concentración de humedad junto al borde de las viviendas en áreas de suelos expansivos; y el caso indicado anteriormente de la siembra de árboles de capacidades altas de evapotranspiración (Villafañe 1991).



MUROS EN MAMPOSTERIA CONFINADA  
CON VENTANAS



MUROS EN MAMPOSTERIA CONFINADA  
SIN VENTANAS

c. El proyecto de localización de viviendas en forma asimétrica permitiendo la creación de distorsiones no lineales como respuesta a las solicitudes geotécnica y creando patrones de agrietamiento complejos.

Para el manejo correcto de los problemas de origen geotécnico se requiere que los elementos de suelos y estructuras sean tenidos en cuenta desde el inicio del anteproyecto urbanístico.

## **10. ALTERNATIVAS DE CONTROL**

### **a. Diseño estructural empírico**

El Código Colombiano de Construcciones sismo-resistentes (Decreto 1400 de 1984) determinó unos requisitos mínimos que se deben seguir en el diseño y construcción de edificaciones de uno y dos pisos con muros de mampostería, dejando libre la posibilidad de un diseño estructural utilizando los criterios establecidos para los demás tipos de estructuras. Generalmente los Constructores cumplen con los criterios mínimos exigidos y en algunos casos se toman medidas adicionales de acuerdo a procedimientos empíricos.

La utilización de estos criterios ha mejorado notablemente la calidad de la construcción pero en los casos de movimientos importantes del suelo de cimentación no han sido suficientes para evitar agrietamientos excesivos.

### **b. Diseño detallado de la estructura y la cimentación**

En los países desarrollados (Nelson -1992), especialmente en los EE.UU. y Gran Bretaña se han desarrollado sistemas de análisis y diseño estructural que en la práctica obliga a la estructura a asumir los efectos de las solicitudes geotécnicas, en algunos casos complementadas por una cimentación especial.

La solución estructural ha tenido éxito especialmente en el control de problemas relacionados con suelos expansivos.

El costo de estas soluciones ha impedido en muchos casos su utilización en proyectos de vivienda popular (Villafañe - 1991).

#### **c. Control geotécnico**

Las medidas de estabilización del suelo que controlan los cambios de humedad o las propiedades del mismo han dado resultados satisfactorios en muchos casos y su utilización en Colombia ha sido muy extensa para resolver problemas en suelos expansivos (Beltrán L. - 1991).

### **CONCLUSION**

#### **EL DISEÑO Y CONSTRUCCION CON CALIDAD TOTAL**

Los procedimientos de "Calidad Total" utilizados en la industria deben emplearse también para la construcción de estructuras de uno y dos niveles y a ellos se debe llegar a través de un trabajo interdisciplinario que debe incluir a los Arquitectos y a los Ingenieros geotécnicos, estructurales, hidráulicos, eléctricos, etc. los maestros de obra, los fabricantes de mampostería y demás profesionales que conforman el equipo de obra.

El problema del comportamiento geotécnico - estructural de las construcciones de poca altura es complejo y requiere de un enfoque de calidad total y no puede ser resuelto independientemente por una sola rama de la Ingeniería.

### **REFERENCIAS**

1. Beltrán L. (1991) "Expansión de los suelos arcillosos parcialmente saturados. I enc. Nal. de Ing. de suelos y estructuras". Bogotá.
2. Biddle P.G. (1983) " Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees on clay soils. Geotechnique 33.
3. Coatsworth A. and Evans J. (1984) " Discussion on the influence of vegetation on clays. Geotechnique 34 (2).

4. Donaldson G.W. (1973) the prediction of differential movement on expansive soils". 3rd Int. Conf. on expansive soils. Haifa. Israel.
5. Greenway D.R. (1987) "Vegetation and slope stability" "Slope stability" Anderson and Richards John Wiley London.
6. Holland J.E. and Richards J. (1984) "The practical design of foundations for light structures on expansive soils". 5th int. Conference on expansive soils. Australia.
7. Lytton, R.L. (1972) "Design method for concrete mats on unstable soils." Third international conf. on materials technology Rio de Janeiro.
8. Nelson J.D. and Miller D.J. (1992). "Expansive soils. John Wiley. New York.
9. PTI (1980) "Design and construction of post-tensioned slabs on ground. Post-tensioning Institute. Phoenix.
10. Vargas M. (1988) Collapsing and expansive soils in Brazil". "Geomechanics in tropical soils" Singapore 1988 - Balkema.
11. Villafañe G.A. (1991) "Patología de las edificaciones en suelos expansivos. 1er. encuentro Nacional de Ingenieros de suelos y estructuras. Bogotá.
12. Wallace, G.B. and Otto W.C. (1965) Differential Settlement at selfridge. Airforce base, Journal SMFD ASCE Vol 90, SMG.
13. Williams A.A.B. and Pidgeon J.T. (1983). "Evapo - transpiration and heaving clays". Geotechnique 33 (2).
14. Wray (1987) The principle of soil suction and its geotechnical engineering applications. 5th int. Con f. on expansive soils. Australia.