

Ingeniería Forense en Suelos No Saturados

Ángel TREJO MOEDANO^{a,1}

^aProfesor Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro

Resumen. En diversos lugares del país se encuentran afectadas estructuras ligeras por la activación del fenómeno de los suelos no saturados, lo que conlleva pérdidas económicas considerables.

De varios daños en algunas zonas urbanas del país, observados por el autor se aprecia una tipología particular que permite deducir que el suelo no saturado se ha activado originando distorsiones angulares que producen agrietamientos, si estos daños no son atendidos de manera oportuna la estructura puede verse dañada hasta llegar al colapso.

El autor hace una breve explicación del fenómeno y plantea un procedimiento de investigación que permita restaurar la estabilidad para que continúen prestando servicio de acuerdo a la vida útil que ha sido prevista en el proyecto.

La investigación está enfocada, tanto en el sitio donde se ubican las estructuras dañadas, como en el laboratorio, realizando los ensayos pertinentes que permitan obtener los parámetros que cuantifiquen el daño producido.

Palabras Clave. Suelos no saturados, Ingeniería forense.

1. Estructuras afectadas en México por suelos no saturados

La distribución de suelos en el país, como en cualquier región del mundo es un mosaico, caracterizado por la variabilidad de climas, precipitación pluvial y rocas que originan los suelos.

Algunos investigadores estiman que la distribución de suelos potencialmente expansivos representan, en México el 12% de su superficie [1].

Por lo que se refiere a los suelos colapsables, diseminados generalmente en zonas áridas y semi áridas pueden representar la mitad de la superficie ya señalada, donde están edificadas ciudades que se encuentran en constante crecimiento.

Algunas ciudades, donde las estructuras han sido considerablemente dañadas por el fenómeno expansión – contracción (Figura 1) y colapso son las siguientes:

- **Suelos Expansivos:** Apatzingán, Mich. Cd. Obregón, Son. Culiacán, Sin., La Piedad Mich., León, Gto., Mexicali, B.C., Pánuco, Ver., Reynosa, Tams., Ciudad Río Bravo, Tams., Sahuayo, Mich, Tuxtla Gutiérrez, Chi., Querétaro, Qro., Celaya Gto., Cd. Juárez Chi., Chihuahua, Chi., Guadalajara, Jal., Irapuato Gto., Monterrey, N.L., Morelia, Mich., Puebla, Pue., Salamanca Gto.
- **Suelos Colapsables:** Ahome, Sin., Cd. Acuña, Coah., Cd Alemán, Tams., Gómez Palacio, Dgo., Mazatlán Sin., Pachuca Hgo., Torreón Coah., Tuxtepec, Oax., Uruapan, Mich.

¹ Corresponding Author, E-mail: angel_trejo_m@yahoo.com.



Figura 1. Estructuras considerablemente dañadas por el fenómeno expansión – contracción.

2. Tipología de los suelos no saturados

La relación entre la deformación del suelo y sus efectos en las estructuras está conformada por tres componentes: expansión uniforme en toda la estructura, giro de cuerpo rígido que da lugar a una inclinación o desplome del edificio; el resto del movimiento lo constituyen las expansiones diferenciales entre los apoyos [2]. Ésta última componente genera deformación angular con el consecuente agrietamiento de los elementos frágiles, del muro y/o marco estructural, y es la responsable del agrietamiento que presenta un gran número de estructuras sujetas a este fenómeno (Figura 2).

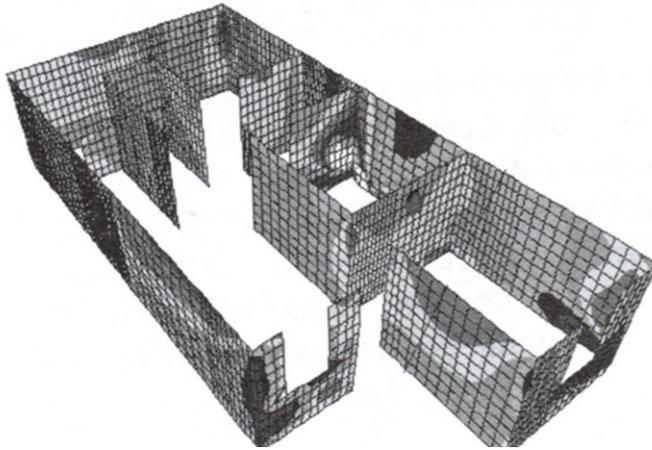


Figura.2 Contorno de esfuerzos normales para un valor aproximado de la distorsión angular de 0.25% y daño asociado.

En un gran número de casos estudiados [3], el daño observado sugiere que la primera fuente de humedad proviene de obras exteriores de drenajes deficientes, así como el humedecimientos de los jardines y patios de servicio por riego y precipitaciones pluviales.

Por lo que se refiere a los suelos con potencial de colapso son materiales de deposición eólica, arenas finas, limos y suelos compactados del lado seco, con un grado de saturación muy bajo, el proceso de colapso, ocurre cuando aumenta el contenido de humedad y se da un rompimiento súbito de la estructura del suelo, lo que se manifiesta en asentamientos diferenciales, que también como en la situación de los suelos expansivos, produce deformación angular, con el consecuente agrietamiento de los elementos frágiles.

3. Investigación

Para tener una idea clara de la investigación a realizar, debemos tener en mente como se activan los suelos no saturados y las causas que provocan su manifestación.

Los factores asociados a los daños, son los siguientes:

Topografía desfavorable, estructuras colindantes que pueden detonar problemas, colindancias entre estructuras con separaciones, redes hidráulicas y sanitarias, depósitos de almacenamiento de agua, cisternas, albercas, zonas ajardinadas, cimentaciones someras, cimentaciones inadecuadas para enfrentar el fenómeno.

- Topografía desfavorable

Presenta características como las siguientes:

Superficies de terreno bajo el nivel de calle que forman receptáculos sin salida para el agua de lluvia, estas situaciones, se corrigen colocando rellenos de material inerte hasta alcanzar las cotas del nivel de la calle.

Ubicación de las estructuras justamente al final de una calle con pendiente desfavorable donde los puntos más bajos coinciden con su acceso a las estructuras.

- Estructuras colindantes que pueden detonar problemas

Estructuras colindantes donde la zona ajardinada es adyacente a la estructura vecina, el riego en algunas ocasiones en exceso, permea hacia la estructura vecina, y el exceso de agua se acumula entre los linderos de ambas estructuras.

- Colindancias entre estructuras con separaciones

Los reglamentos señalan la colocación de elementos separadores entre las estructuras, en las azoteas, esas separaciones se descuidan y no se coloca algún elemento que evite la entrada de lluvia entre ambas estructuras, el agua escurre, quedando atrapada, y con tiempo suficiente para permear y llegar hasta el nivel de desplante de la cimentación.

- Redes hidráulicas y sanitarias

Es muy común que en muchas estructuras las redes hidráulicas están conformadas por tubería de cobre, movimientos del subsuelo rompen las uniones por la tensión a la que son sometidos, dando lugar a fugas que permean al subsuelo.

Por lo que se refiere a las redes sanitarias y particularmente para estructuras que fueron construidas hace unas décadas, la red sanitaria ha sido construida con tubos de albañal, es decir de concreto, en ocasiones la calidad de este tipo de tuberías es deficiente en cuanto a su impermeabilidad se refiere, si a esto se le adiciona uniones entre tubos mal ejecutadas, originan fugas que activan el potencial de expansión y/o colapso, aumentando el caudal del flujo que se percola al subsuelo o que migra bajo la construcción.

- Depósitos de almacenamiento de agua, cisternas, albercas.

Para almacenar volúmenes significativos de agua potable, en algunas ocasiones se opta por construir depósitos con muros de concreto armado si su construcción no se ejecuta de manera cuidadosa, los puntos delicados por donde puede haber escape de agua, son las uniones entre los muros y el fondo del recipiente, o bien, los muros son permeables, por defecto en la colocación del concreto.

- Zonas ajardinadas

Si las zonas ajardinadas son sensiblemente horizontales o con pendiente a las estructuras y sin ninguna salida para el agua por exceso de riego o bien por lluvia, el agua se percolará bajo la estructura alcanzando el nivel de desplante de la cimentación.

- Vegetación

En algunas ocasiones existen arboles adosados al perímetro de la construcción, que durante el crecimiento de sus raíces interfieren con la cimentación de la estructura.

4. Procedimiento de investigación

En una estructura afectada por la activación de suelos no saturados las anomalías consisten en grietas y fisuras, el inicio de la investigación es efectuar un levantamiento de estas, que nos permite estimar el nivel de daño en que se encuentra la estructura como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1. Nivel de daño en las estructuras.

UBICACIÓN	GRIETA	ABERTURA
Muro exterior, Sur	Diagonal	3.0 mm
Cocina muro Sur	Diagonal	2.6 mm
Cocina Muro Norte	Horizontal	3.0 mm
Piso Vestíbulo (Ventana)	Vertical	12 mm
Vestíbulo (Puerta)	Vertical	4.0 mm
Acceso – Vestíbulo Muro	Vertical	3.2 mm
Baño Muro Norte	Diagonal	1.2 mm
Sala (Cuarto T.V.)	Diagonal	1.5 mm
Fondo del Pasillo acceso jardín	Diagonal	2.5 mm

El siguiente paso de la investigación va encaminada a determinar las propiedades del subsuelo y las causas de las anomalías, para definir el proceso de remediación. Comprende exploración, ensayos de laboratorio, trabajo de ingeniería e informe técnico.

- Exploración:
 1. Para determinar las características del área en estudio, se realizan sondeos, mediante pozos a cielo abierto, que permiten la obtención de muestras inalteradas, ubicados en las zonas donde se manifiestan mayores daños.
 2. Es conveniente efectuar algunos pozos que permitan determinar el tipo de cimentación y su profundidad de desplante.

3. Verificar las condiciones de permeabilidad de las cisternas, las redes hidráulicas y sanitarias.
 - Verificar la impermeabilidad de las redes hidráulicas
 1. Para verificar la impermeabilidad de la red de agua potable, deberá aplicársele presión, con un valor aproximado al doble de la red municipal.
 2. Para verificar la impermeabilidad de la red de drenaje, se sugiere efectuarlo de la siguiente manera:
 - a) Obturar el extremo de la longitud de tubería por revisar, verter agua para lavar la red, asegurándose de que no exista obstrucción.
 - b) En el extremo de la salida del tubo, colocar un tapón para obturar.
 - c) Conocida la longitud, el diámetro del tubo y las dimensiones de la caja de concreto (registro), se calcula el agua necesaria para llenar la red y el registro.
 - d) El agua calculada será vertida por el registro posterior, cuando termine de vaciarse el agua el nivel debe de corresponder al perímetro del registro.
 - e) Se observará durante un tiempo prudente, si el nivel se mantiene, o desciende, y si el descenso es lento o rápido.
 - f) La velocidad de descenso nos dará idea de la rapidez con que el agua fuga a través de la red.
 - Investigación de laboratorio:

Las propiedades del subsuelo nos permiten estimar como fue el proceso de deterioro de la estructura, se determinan mediante los siguientes ensayos de laboratorio; Contenido de humedad, límites de consistencia, ensaye triaxial no consolidado no drenado, expansion y colapso.

Los resultados obtenidos se presentan de manera gráfica en los perfiles estratigráficos obtenidos en los diferentes puntos de investigación, acompañado de un resumen de las propiedades índice y la clasificación S.U.C.S.

Adicionalmente a las propiedades índice, de muestras inalteradas se determina el potencial de expansión, expresada como porcentaje y presión, la metodología conveniente será la establecida en la Norma D 4546-96 ASTM (American Society for Testing and Materials), de esta manera se establecen las variaciones de los parámetros causantes de los daños ocasionados a la estructura.

El resultado de esta información se ejemplifica en la Figura 3.

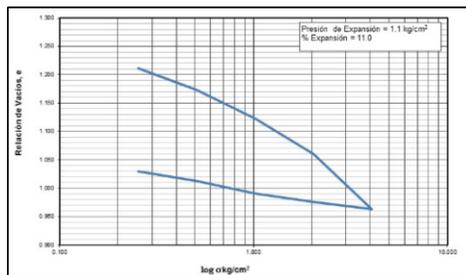
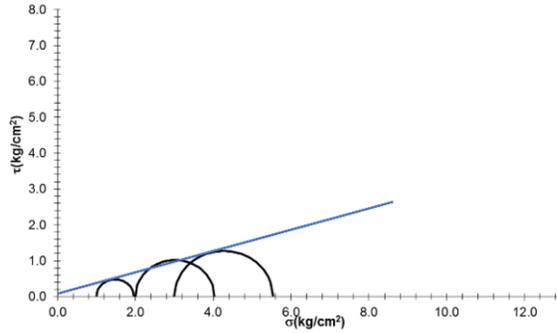


Figura 3. PCA No. 1 (profundidad 0.50 m).

Es conveniente revisar la afectación en la capacidad de carga admisible, los parámetros para su análisis, C = Cohesión, ϕ = ángulo de fricción interna, se obtienen del ensaye triaxial no consolidado no drenado como se aprecia en la Figura 4:

Prueba #	Ss	γ_{m0} (kg/m ³)	γ_{s0} (kg/m ³)	w %	e_0	GW ₀ %	σ_3	$\sigma_1 - \sigma_3$
							Confin. (kg/cm ²)	Desviador (kg/cm ²)
1	2.6	1493	1140	31	1.280	63	1.00	0.96
2	2.6	1470	1122	31	1.317	61	2.00	2.03
3	2.6	1465	1128	30	1.304	60	3.00	2.54



$$C_{uu} = \frac{0.87}{\phi = 15.9} \text{ Ton/m}^2$$

Figura 4. Ensaye triaxial no consolidado no drenado.

- Estratigrafía y propiedades del subsuelo

De las observaciones realizadas en las paredes de los pozos a cielo abierto y los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, permiten caracterizar el suelo, conocer el potencial de expansión remanente y el estado actual de la capacidad de carga admisible.

5. Analisis estructural

Es conveniente efectuar el análisis estructural, considerando la capacidad de carga admisible actual y la distorsión angular que manifiesta la estructura.

6. Restauración de la estabilidad de las estructuras

La estabilidad de las estructuras consiste en aplicar las medidas remediales que permitan corregir las anomalías detectadas en la infraestructura hidráulica y los reforzamientos de tipo estructural en los elementos fallados que deberán sustituirse por elementos adicionales.

7. Sistema de remediación

De lo descrito con antelación, se concluye que el sistema de remediación consiste en evitar que continúe penetrando agua al subsuelo bajo la estructuras.

Corrección de la permeabilidad en las redes hidráulica y sanitaria

Consiste en sustituir la parte de las redes dañadas, por tubería nueva, procurando que está sea flexible.

Colocación de barreras impermeables

- La barrera impermeable consiste en:
Encapsular la masa de suelo, en el espesor de influencia bajo la estructura. Siguiendo el siguiente procedimiento.
- Abrir una trinchera en el perímetro de la casa, de un ancho tal que facilite la excavación y la extracción del suelo.
- Adosada a la pared excavada colocar una membrana impermeable.
- Colocada y adosada a la pared la membrana, proceder a rellenar con material inerte.

Cimentación

- Reforzar la estructura desde la cimentación, construyendo zapatas aisladas en puntos estratégicos que serán señalados por el Ing. Estructurista.

Infraestructura adicional

- En la zonas estratégicas, colocar rejillas para interceptar el agua de lluvia, con una tubería conectadas a la instalación hidráulica.
- En el centro del área ajardinada colocar una coladera de tamaño generoso, para dar salida de manera eficiente al agua de lluvia.
- Modificar la topografía, de tal forma que las pendientes se orienten hacia fuera del perímetro contruido.
- Terminado el encapsulado del suelo colocar un canal de drenaje en el perímetro de la construcción, en la parte superior, se coloca una rejilla, que tiene la función de captar el agua de lluvia.
- Colocar un interruptor automatico de agua (*STOP-FLOW*), Cierra de manera automatica el suministro de agua en caso de detección de fuga de la tubería, consta de un parpadeo luminoso que detecta la fuga.

8. Reparación de grietas y fisuras

Concluida las medidas remediales, se requiere un monitoreo, de grietas y fisuras, mediante la observación continua, para asegurar que ha cesado el movimiento, ese es el momento conveniente para la reparación de los muros.

Para la reparación de grietas y fisuras se sugieren efectuarlo de la manera siguiente:

1. Ampliación de la grieta y/o fisura, para facilitar su obturación
2. Limpieza exhaustiva, utilizando aire a presión, para retirar residuos sueltos y polvo.
3. Introducción de pequeños fragmentos de roca, de preferencia en forma de laja.
4. Inyección de un sellador elástico a base de poliuretano y silicón, Sika Flex.
5. Pintado del muro.

9. Conclusiones

1. Lo que origina el fisuramiento de las estructuras desplantadas sobre suelos no saturados, es inherente al agua que se percola al subsuelo, activando el potencial de expansión y/o colapso, la cimentación, por ser frágil no es suficiente para inhibir la presión de expansión y/o asentamientos súbitos.
2. En algunas ocasiones las condiciones de saturación de los suelos no saturados, resultan desfavorables para el comportamiento futuro de las estructuras.
3. Siempre debe certificarse la impermeabilidad de las redes para que el método implementado asegure un comportamiento satisfactorio de la estructura.
4. Se recomienda certificar que los depósitos de almacenamiento de agua, cisternas, sea completamente impermeables, bien instaladas, con respiración para evitar el enjutamiento de depósitos de PVC.
5. Como parte importante de la investigación es conveniente efectuar la revisión estructural con la finalidad de identificar las zonas donde implementar refuerzos adicionales.
6. Terminadas de implementar las medidas remediales y verificando que la estructura no manifiesta movimientos, es el momento de obturar las grietas y fisuras y efectuar la reparación de los muros.
7. En este tipo de inmuebles los métodos preventivos incrementan los costos, pero la decisión de no tomar precauciones, por negligencia, repercute en un comportamiento inadecuado de las estructuras durante su vida útil, constituyéndose en una construcción vulnerable.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la Srta. Carla L. Arzeta Inostro quien se encargó de la realización del escrito en Word.

Referencias

- [1] Pérez Rea M., (1993), Tesis "Succión y Comportamiento Esfuerzo Deformación en Suelos Expansivos de Jurica y Tejeda, Qro." Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería – Mecánica de Suelos.
- [2] Rosenblueth, E. (1965). Slenderness effects in buildings. *Journal of the Structural Division*, 91(1), 229-252.
- [3] Trejo Moedano A., (1989), "Estratigrafía y Propiedades Mecánicas del Subsuelo del Valle de la Zona Urbana de Querétaro, Universidad Autónoma de Querétaro.

- [4] Arzate Flores, J., Cortes Silva A., Lozano Guzmán A., Editores, (2009), "El Valle de Querétaro y su Geoentorno", Tomo I.
- [5] Hurtado Maldonado D., (2001), Tesis "Succión y Conductividad Hidráulica de Suelos no Saturados" Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Ingeniería.
- [6] Instituto Mexicano del Seguro Social, IMSS, "La Mecánica de Suelos en las Construcciones para la seguridad Social"
- [7] Jiménez Salas J.A., (1990), "Tenth Nabor Carrillo Lecture", Hacia una Mecánica de Suelos no Saturados, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- [8] Guerrero Escamilla T., (2002), Tesis "Análisis del Tiempo Óptimo de Reacción en la Estabilización de un suelo arcilloso tratado con cal" Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería.
- [9] López Lara T., (1996), Tesis " Resistencia al Esfuerzo Cortante en Arcillas Expansivas de Jurica, Querétaro" Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería.
- [10] Nelson John D., J. Miller D., (1992), "Expansive Soils Problems and practice in foundation and pavement engineering".
- [11] Villegas Murrieta C. (2001), Tesis "Sistema de Barreras Verticales Impermeables para Suelos Expansivos" Universidad Autónoma de Querétaro.
- [12] Zepeda Garrido J.A., Editor (2004), "Mecánica de Suelos no Saturados" Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. Universidad Autónoma de Querétaro.