

# PORQUÉ EL AGREGAR UNA CAPA DE MATERIAL DE BANCO SOBRE SUELO EXPANSIVO NO SIEMPRE ES LA SOLUCIÓN



## **Autores:**

John L. Maier, PE  
Purcell, Rhoades &  
Associates, Inc.

Gregory L. Carr, PE  
Ingeniero Consultor

# **CONTENIDO**

## **1. EI PROBLEMA POTENCIAL**

- 1A. ¿Cuál es el problema potencial al que se enfrenta?
- 1B. ¿Por qué debería importarle este problema?
- 1C. ¿Qué ocurre a las cimentaciones con diseños tradicionales que son colocadas directamente sobre suelos expansivos?
- 1D. ¿Qué ocurre a las cimentaciones con diseños tradicionales que han sido construidas directamente sobre una capa de material de banco colocada sobre suelo expansivo?
- 1E. ¿Por qué se utiliza una capa de material de banco?

## **2. SUELO EXPANSIVO CON UNA CAPA ADICIONAL DE MATERIAL DE BANCO**

- 2A. Construir Directamente Sobre Suelo Expansivo
- 2B. Capa Delgada de Suelo Expansivo
- 2C. Capa Profunda de Suelo Expansivo
- 2D. Ejemplo de Fallas en las Capas de Suelo
- 2E. ¿Cómo Se Desempeñan los Diseños de Cimentaciones Sobre Capas de Suelo?

## **3. VENTAJAS DE UTILIZAR UNA CAPA DE MATERIAL DE BANCO**

## **4. DESVENTAJAS DE UTILIZAR UNA CAPA DE MATERIAL DE BANCO**

## **5. CONCLUSIONES**

## **1. EL PROBLEMA POTENCIAL**

### **1A. ¿Cuál es el problema potencial al que se enfrenta?**

Agregar una capa de material inerte sobre un terreno con suelo expansivo pudiera no detener la expansión de las capas subyacentes, ni los efectos dañinos resultantes que dicha expansión tendrá en las cimentaciones y estructuras construidas sobre la capa de material inerte.

Pudiera darse el caso de que las cimentaciones construidas sobre material inerte estén diseñadas adecuadamente para ser lo suficientemente rígidas y soportar los movimientos verticales diferenciales entre las paredes perimetrales y los pisos interiores. En ese caso, el problema no será estructural; el problema será su alto costo.

### **1B. ¿Por qué debería importarle este problema?**

Al colocar una capa de material inerte (o material de banco) sobre suelo expansivo:

1. Los parámetros del suelo expansivo subyacente deben conocerse perfectamente
2. El desempeño a largo plazo de la capa de material de banco adicionado debe determinarse con toda precisión
3. Se debe estimar el desempeño estructural de la cimentación a largo plazo
4. Es necesario calcular el incremento en el costo de la construcción de la cimentación, debido a la colocación de una capa de material de banco

Al final, se podría estar invirtiendo una cantidad importante de recursos para colocar una capa de material de banco, y que aún así los efectos del suelo expansivo que se encuentra por debajo no sean mitigados adecuadamente. Es posible también que dicha capa no sea necesaria si se utiliza un sistema de cimentación alternativo.

### **1C. ¿Qué ocurre a las cimentaciones con diseños tradicionales que son colocadas directamente sobre suelos expansivos?**

Los tres tipos de cimentaciones más comúnmente utilizados – Losa de Cimentación de Espesor Uniforme (Fig. 1), Losa Nervada (Fig. 2) y Zapata Corrida (Fig. 3) – no eliminan los efectos del suelo expansivo. La Losa Nervada y la Losa de Espesor uniforme son cimentaciones que están continuamente en contacto total con el suelo. Si el suelo cambia de volumen debido a variaciones en su contenido de humedad, estos dos tipos de cimentaciones experimentarán movimientos. La Zapata Corrida absorbe la expansión del suelo dentro del espacio existente debajo del firme flotante, pero las zapatas pudieran estar aún sujetas a las fuerzas de empuje de las capas profundas de arcilla expansiva.

Fig. 1 – LOSA DE CIMENTACIÓN DE ESPESOR UNIFORME

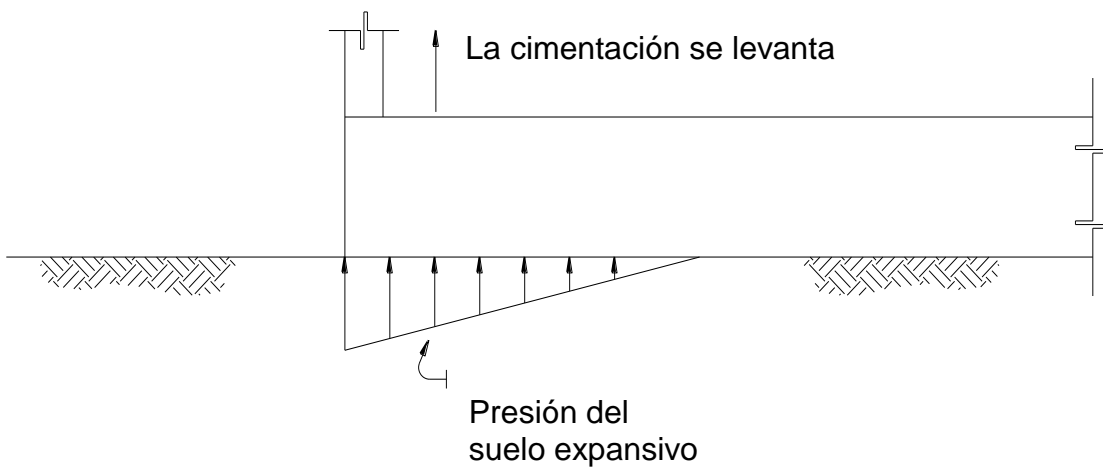


Fig. 2 – LOSA NERVADA

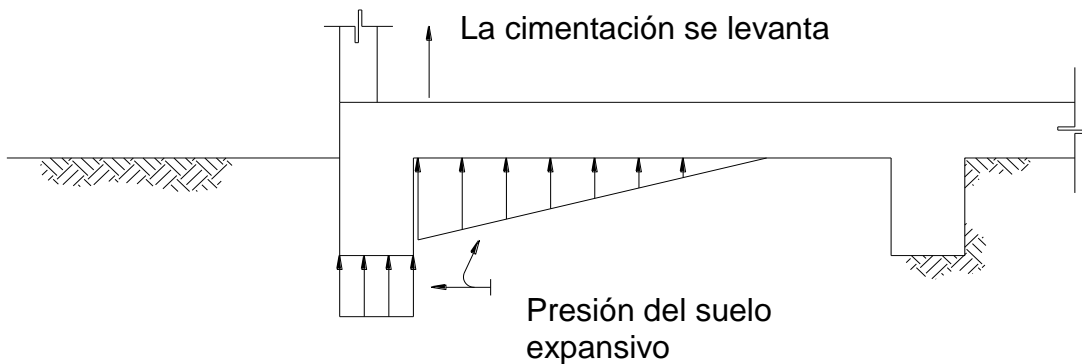
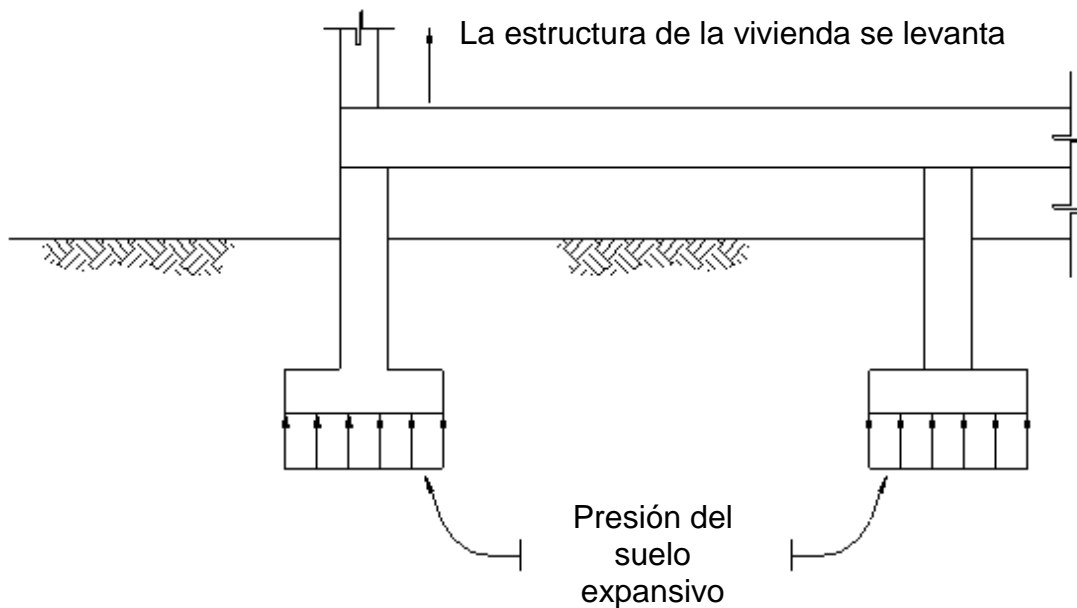


Fig. 3 – ZAPATA CORRIDA



**1D. ¿Qué ocurre a las cimentaciones con diseños tradicionales que han sido construidas directamente sobre una capa de material de banco colocada sobre suelo expansivo?**

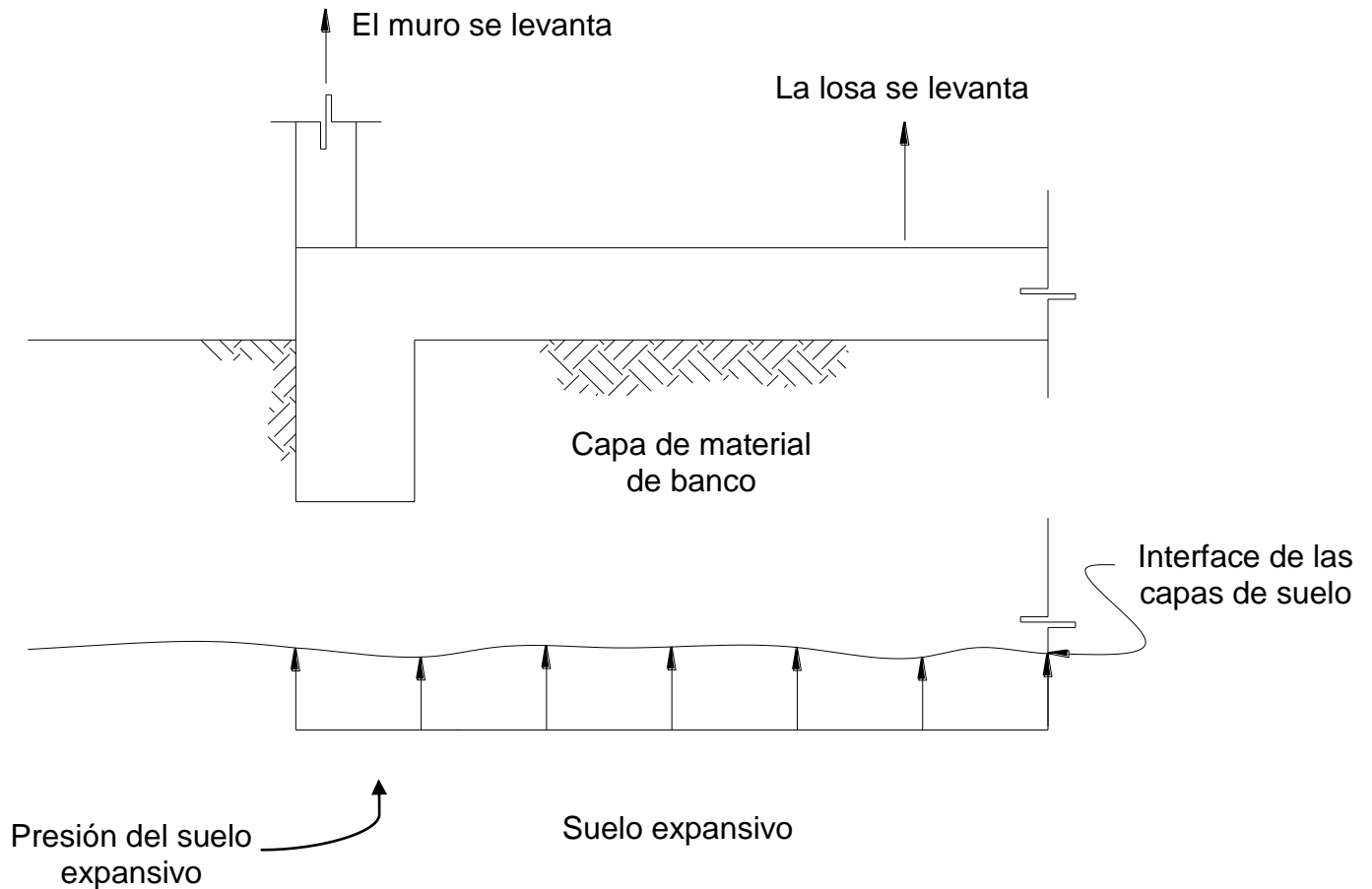
La capa de material de banco transmitirá hacia arriba la fuerza del suelo expansivo que se encuentra debajo de ella, si dicha fuerza excede el peso combinado de la capa de suelo no expansivo, la cimentación y la estructura.

También podrían presentarse movimientos verticales diferenciales entre las paredes perimetrales y los pisos, debido a las diferencias entre las cargas verticales y la rigidez de las cimentaciones.

La Losa Reforzada de Hawái (Fig. 4) es un ejemplo exitoso de diseño de cimentación que utiliza una capa de material de banco sobre suelo expansivo, sobre la cual se colocó una losa de cimentación de mediano espesor, con vigas perimetrales aperaltadas. Este diseño ha demostrado ser funcional cuando se construye sobre una capa de material de banco, basado en un diseño de ingeniería apropiado. Sin embargo, puede llegar a ser una solución de

cimentación costosa una vez que se añade el costo de la capa del material de banco al costo total de la cimentación.

Fig. 4 – LOSA REFORZADA DE HAWAI



### 1E. ¿Por qué se utiliza una capa de material de banco?

Quienes diseñan las cimentaciones a menudo asumen que una capa de material de banco es la mejor solución a los problemas con suelos expansivos. Dicha asunción no siempre es correcta. Dependiendo de las características del suelo expansivo y su profundidad, el uso de una capa de material de banco pudiera o no ser la solución adecuada.

## **2. SUELO EXPANSIVO CON UNA CAPA ADICIONAL DE MATERIAL DE BANCO:**

### **2A. Construir Directamente Sobre Suelo Expansivo**

¿Qué ocurre a las cimentaciones tradicionales que han sido colocadas directamente sobre suelo expansivo?

Un ejemplo de esto es el diseño de cimentación comúnmente utilizado en viviendas de bajo ingreso en México. La mayoría de los constructores de vivienda no realizan pruebas de expansión al suelo – normalmente solo consideran la capacidad de carga admisible del suelo (CCAS). La cimentación se diseña utilizando solamente la CCAS y se construye directamente sobre el suelo expansivo, sin aumentar significativamente el espesor de las trabes perimetrales ni de la losa de cimentación, y sin agregar algún tipo de refuerzo estructural a la losa. Usualmente la losa solo contiene malla electrosoldada, la cual es muy flexible y es utilizada solo para minimizar las grietas por temperatura en el concreto. Durante el procedimiento de construcción, los trabajadores caminan sobre la malla y ésta termina contra el terreno. Cuando el concreto es colado, la malla termina al fondo de la cimentación, con lo cual se pierde el objetivo de su uso (Ver Fig. 5). Después de varios cambios estacionales, la cimentación comenzará a levantarse, lo cual eventualmente producirá agrietamiento en el concreto.

El agua se trasmite fácilmente bajo las vigas perimetrales superficiales y bajo la delgada losa de cimentación de este diseño, porque es muy poco lo que la detiene. El resultado es que la expansión del suelo se presenta más allá del borde, hacia el interior de la losa.

Algunos constructores de vivienda han optado por utilizar mayor refuerzo en las losas delgadas de cimentación, pero el área total de la losa se mantiene en contacto con el suelo expansivo. El resultado es aún el mismo – movimientos en la losa y con ello grietas estructurales (Ver Fig. 6).

CIMENTACIONES TRADICIONALES EN MEXICO  
Sin colocación de material de banco

Fig. 5 – TAL Y COMO SE CONSTRUYE

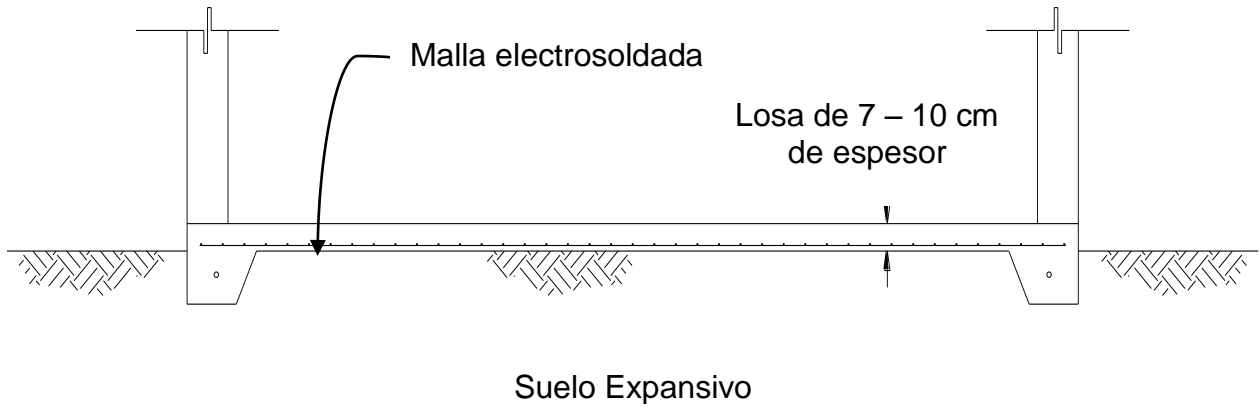
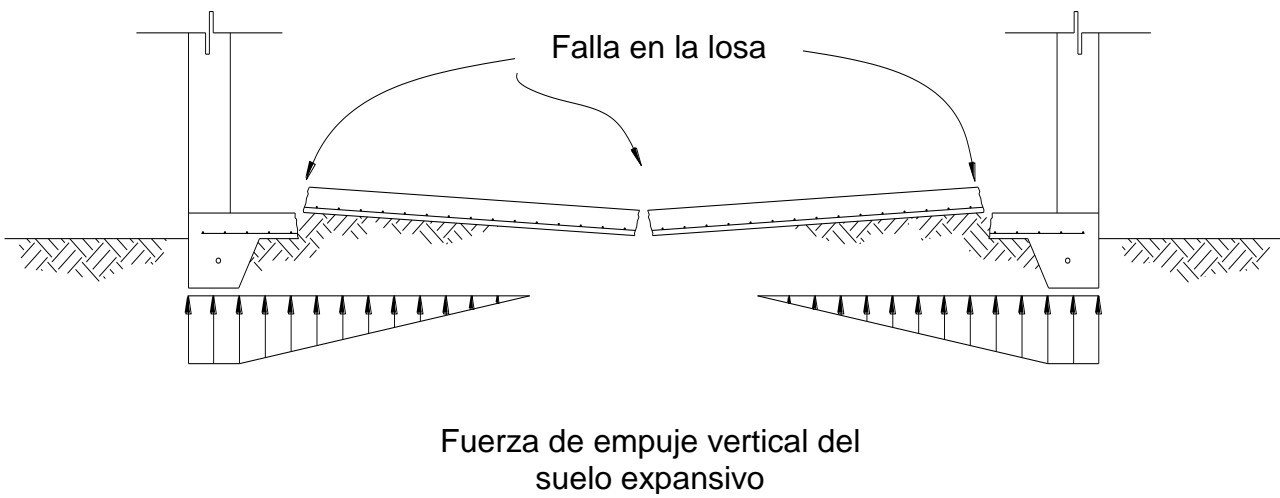


Fig. 6 – DURANTE LA EXPANSION DEL SUELO





## 2B. Capa Delgada de Suelo Expansivo

Si la capa superficial en el terreno a construir es de suelo expansivo, y si dicha capa no es muy profunda (Ver Fig. 7), algunos Ingenieros Geotécnicos pudiesen recomendar retirar completamente la capa y reemplazarla con suelo no expansivo (Ver Fig. 8). Esta opción resuelve todos los problemas de suelo expansivo, porque elimina por completo cualquier potencial de expansión del suelo, así como el impacto negativo resultante que dicha expansión pudiera tener en la cimentación y en la estructura. Sin embargo esta solución, requiere de un costo substancial para remover, desechar, y reemplazar el suelo expansivo con material de banco.

Fig. 7 – CAPA DELGADA DE SUELO EXPANSIVO

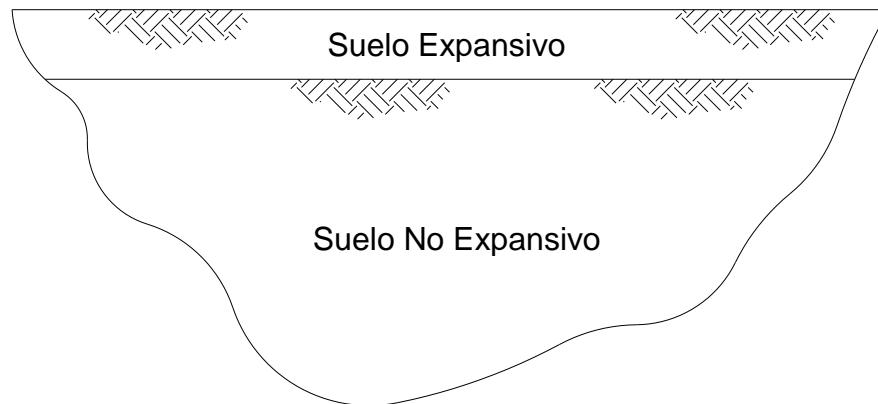
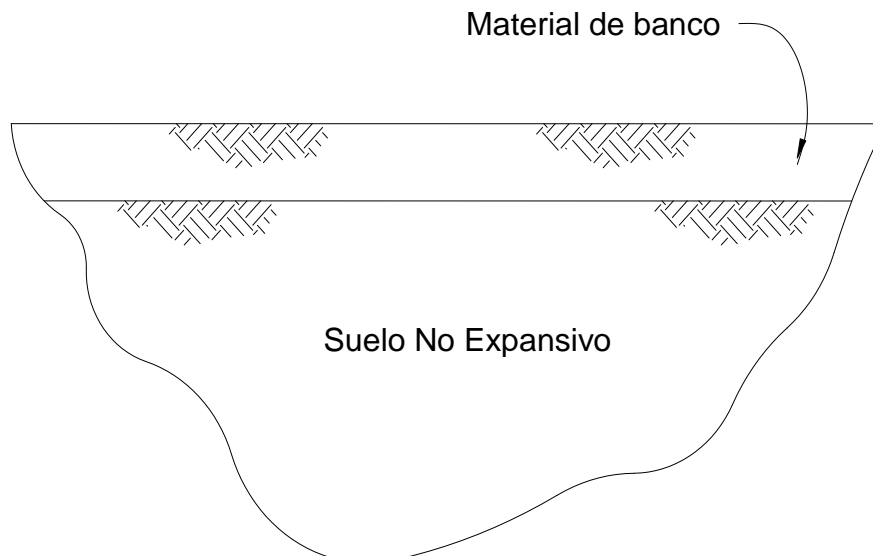


Fig. 8 – REMOVER SUELO EXPANSIVO Y REEMPLAZARLO CON MATERIAL DE BANCO



## **2C. Capa Profunda de Suelo Expansivo**

Si la capa superior de suelo es expansiva y profunda (Ver Fig. 9), remover todo el suelo expansivo que está sujeto a variaciones de humedad, pudiese no ser una solución económicamente factible.

Para poder eliminar completamente el potencial de expansión del suelo expansivo, sería necesario remover una cantidad significativa de suelo y reemplazarla con una capa de material de banco (Ver Fig. 10). Remover gran cantidad de suelo expansivo puede resultar muy costoso.

Algunos diseños de cimentaciones asumen incorrectamente que para evitar los efectos dañinos del suelo expansivo, bastará con remover una parte de la capa superficial de suelo expansivo que está sometido a variaciones de humedad. En algunos casos ese enfoque pudiera funcionar, pero en la mayoría de los casos, con el paso del tiempo presentan fallas.

¿Por qué se presentan fallas? El material de banco tiene un nivel de permeabilidad más alto que el de los suelos expansivos. El agua superficial y subterránea fluirá mucho más rápidamente a través del material de banco y migrará por gravedad hacia la capa de suelo expansivo. El agua saturará la superficie de unión de las capas de suelo, y continuará trasminando hasta que eventualmente se humedezca el suelo expansivo, provocando inevitablemente la expansión del mismo.

¿Hacia dónde se expande? Se expande hacia arriba, provocando una fuerza de empuje contra la superficie inferior de la capa de material de banco, en la superficie de unión de las dos capas de suelo. Si la fuerza de empuje del suelo expansivo excede la carga gravitacional combinada de la capa de material de banco, la cimentación y la estructura; la cimentación se levantará.

Fig. 9 – CAPA PROFUNDA DE SUELO EXPANSIVO

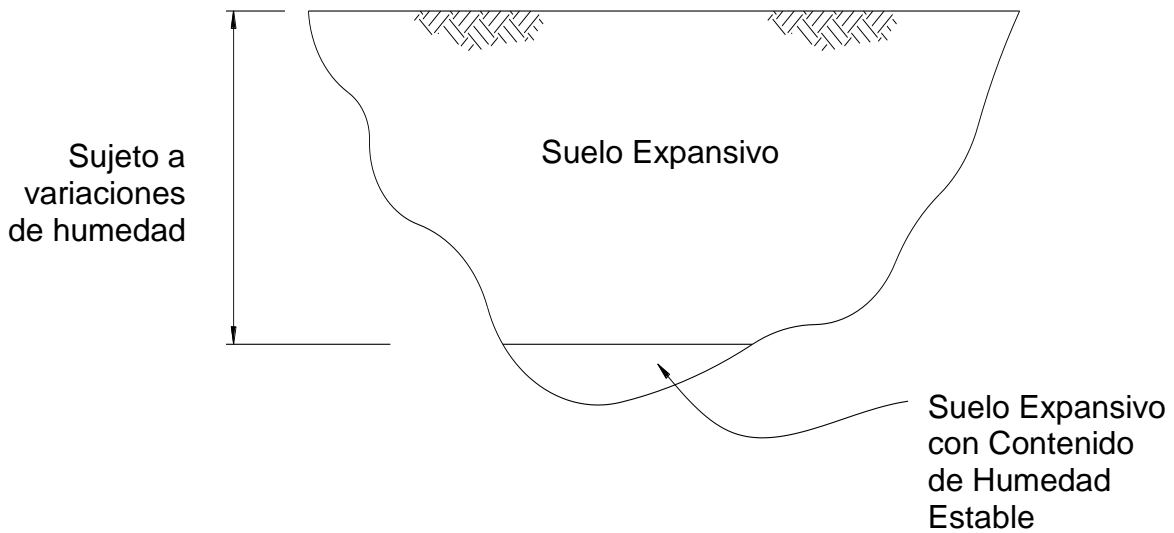
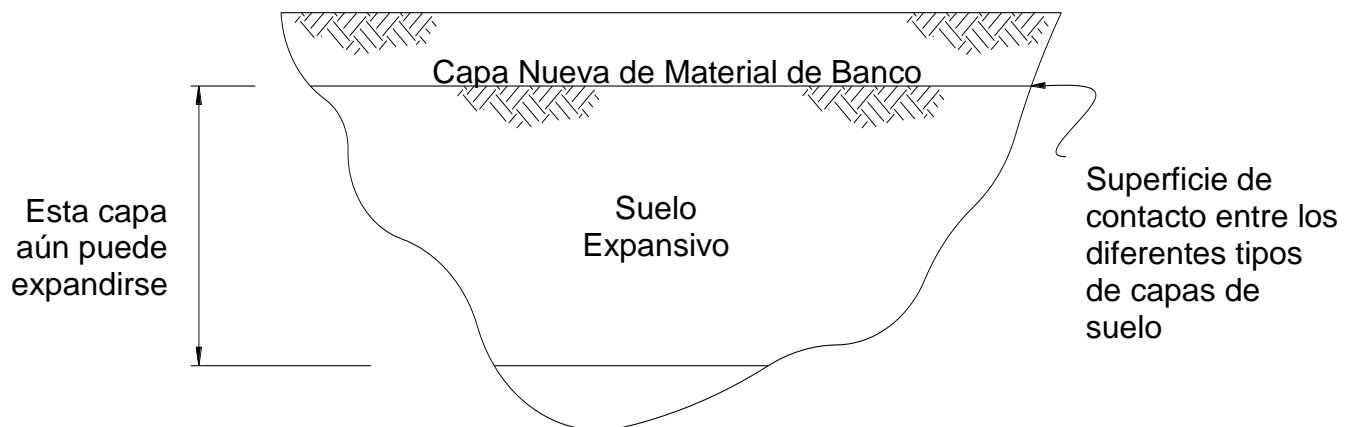


Fig. 10 – CAPA SUPERFICIAL DEL SUELO EXPANSIVO REEMPLAZADA CON UNA CAPA DE SUELO NO EXPANSIVO



## 2D. Ejemplo de Fallas en las Capas de Suelo

En un importante proyecto de desarrollo de viviendas en el norte de México, donde el suelo es altamente expansivo, la presión de expansión del suelo fue calculada utilizando ASTM D 4546 (Método B) y se calculó en 32 lb/plg<sup>2</sup> (2.25 kg/cm<sup>2</sup> ó 4,608 lb/ft<sup>2</sup>). Esta prueba se llevó a cabo como parte de una investigación y análisis forense de fallas en la cimentación de ese terreno.

Las recomendaciones en el estudio de mecánica de suelos original incluyeron la colocación de una capa de material de banco de 1 metro de espesor, sobre la capa profunda ya existente de suelo altamente expansivo. La capa de material de banco estaba compuesta por material diseñado para mitigar la expansión del suelo. Se utilizó una cimentación con pilotes de concreto y traveses. Se complementó con una losa delgada de espesor uniforme, que se colocó encima de la capa de material de banco, y se coló monolíticamente con las traveses, las cuales descansaban sobre los pilotes (Ver Fig. 11).

Dos años después de que el desarrollo había concluido, la mayoría de las casas presentaron levantamientos significativos de los pisos de concreto dentro de las casas. El suelo expansivo ejerció una presión de elevación sobre la capa de material de banco, la cual a su vez transmitió el empuje hacia el concreto y la estructura. La losa delgada de espesor uniforme no había sido diseñada para soportar la magnitud de estas fuerzas, las cuales resultaron en movimientos verticales significativos y el agrietamiento de la losa (Ver Fig. 12).

A pesar del tiempo y costos involucrados para la colocación de la capa de material de banco sobre la superficie total del terreno, esta no evitó que la lluvia y el agua subterránea se filtraran hacia el suelo expansivo que se encontraba debajo. Adicionalmente, existe la posibilidad de que el suelo expansivo debajo de la superficie de contacto entre ambas capas de suelo, no estuviera preparado para repeler la humedad antes de que el material de banco se colocara, resultando en fuerzas de presión de elevación aún más dañinas. Esa presión fue transmitida por la capa de material de banco hacia la cimentación.

La capa de material de banco en conjunto con la cimentación a base de traveses y pilotes, no fue la solución correcta para este proyecto, pues no se eliminaron los daños en la cimentación ocasionados por el suelo expansivo.

# LOSA DE CIMENTACIÓN SOBRE UNA CAPA DE MATERIAL DE BANCO EN EL NORTE DE MEXICO

Fig. 11 – TAL Y COMO SE CONSTRUYÓ

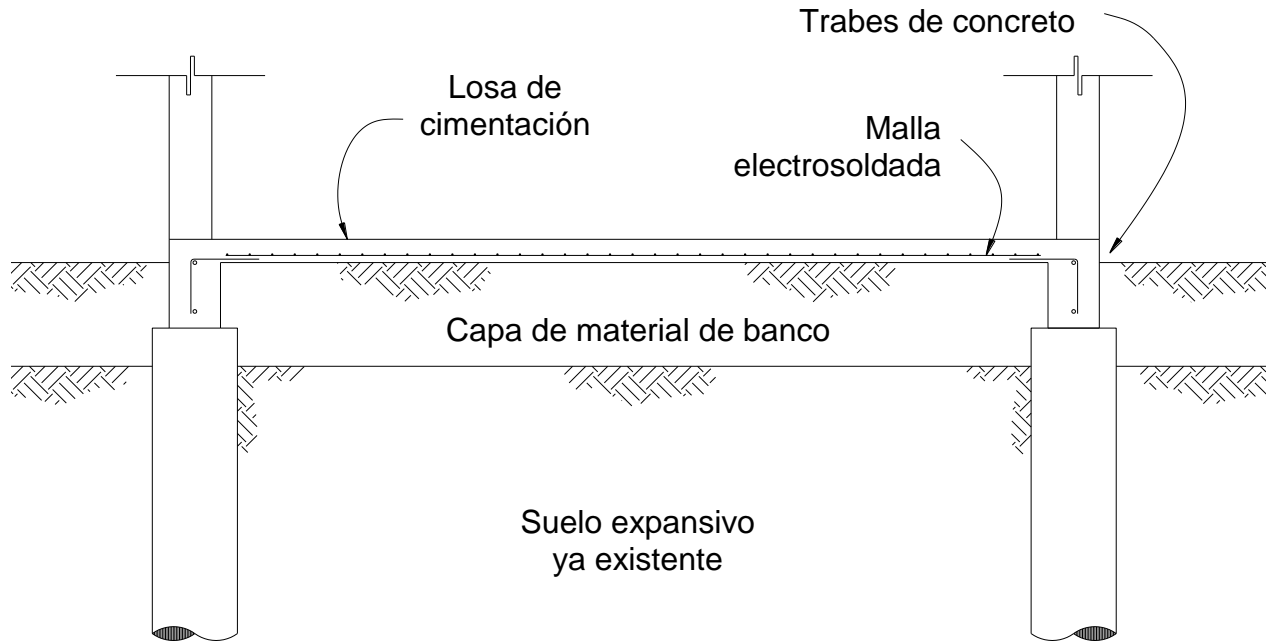
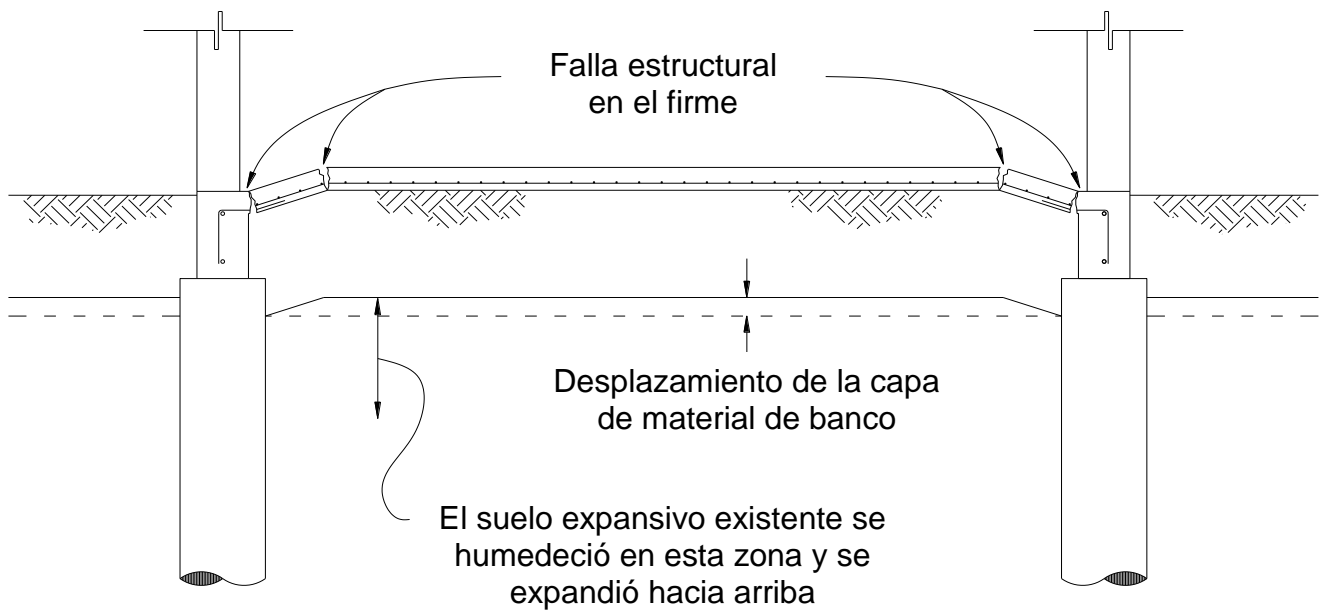


Fig. 12 – DURANTE LA EXPANSIÓN DEL SUELO



## **2E. ¿Cómo Se Desempeñan los Diseños de Cimentaciones Sobre Capas de Suelo?**

Las cimentaciones con Losas de Espesor Uniforme, Losas Nervadas, y las Losas Reforzadas de Hawái no mitigan la fuerza de expansión del suelo. Se mueven al unísono con el suelo expansivo.

Las cimentaciones de Zapata Corrida (y las cimentaciones que utilizan pilotes y trabes), donde los pisos se elevan sobre el nivel del suelo, pueden evitar dicha fuerza vertical de expansión, pero con un costo significativamente mayor. Estas últimas presentan otros problemas, como el mantener seca el área abierta debajo de la casa durante la época de lluvias. Normalmente se requieren drenajes perimetrales alrededor de la cimentación, así como ventilación perimetral, con la finalidad de asegurar que el área abierta debajo de la casa se mantenga seca, ventilada y libre de humedad.

Un sistema de cimentación que fue diseñado para usarse directamente sobre suelos expansivos es el Sistema Wafflemat™ (Ver Fig. 13). El Sistema Wafflemat™ utiliza casetones plásticos desechables para crear vacíos en el área inferior de la losa de cimentación. La cimentación Wafflemat™ se coloca directamente sobre el suelo, usualmente sin requisitos previos de preparación o tratamiento del suelo más allá de una ligera nivelación para obtener un área plana adecuada para la construcción.

El Sistema Wafflemat™ ha sido utilizado exitosamente desde principios de la década de los 90's. Funciona mediante la absorción de la arcilla expansiva dentro de los vacíos. Una cuadrícula de vigas delgadas reforzadas es la que estará en contacto con el suelo, lo cual representa un área de contacto significativamente menor, sobre la cual el suelo expansivo ejercerá fuerzas de elevación, y poder aún así mantener la CCAS.

La cimentación Wafflemat™ crea una matriz de vigas mucho más rígida, que resiste las fuerzas de flexión ejercidas en la cimentación, originadas por el empuje del suelo en expansión. Los espacios reducidos entre las vigas permiten que las losas delgadas que se extienden sobre los casetones (Waffleboxes) provean en conjunto una sección estructural con la rigidez requerida. Las deflexiones en la losa de cimentación son mínimas y las grietas estructurales son prácticamente inexistentes.

¿Cómo se ve una cimentación Wafflemat™? Imagine que usted se encuentra parado en un edificio moderno para estacionamiento de concreto, con varios pisos de altura. Usted se encuentra en uno de los niveles inferiores. Mire hacia arriba. Lo más seguro es que el sistema estructural del piso que usted ve parezca un “waffle”. El suelo presentará vigas rígidas en direcciones perpendiculares entre ellas, con vacíos en medio de las vigas. Si ese piso estuviera colocado en una terracería preparada para construcción, sería muy similar en apariencia al Sistema Wafflemat™.

¿Cómo se comporta el suelo bajo el Sistema Wafflemat™? Cuando el suelo expansivo se humedece, se expande hacia arriba, hace contacto con las vigas delgadas del Sistema Wafflemat™, y se desliza hacia arriba, rodeando los bordes de las vigas, desplazándose hacia el interior de los vacíos creados por los Waffleboxes. La fuerza expansiva del suelo es parcialmente disipada hacia el interior de los vacíos. El resultado es que una cantidad mucho menor de fuerza de elevación debida a la expansión del suelo sea transmitida hacia la base de la cimentación Wafflemat™ (Ver Fig. 14). En contraste, las cimentaciones con Losas Nervadas o Losas de Espesor Uniforme experimentarán la totalidad de la fuerza de expansión del suelo.

### SISTEMA WAFFLEMAT™

Fig. 13 – TAL Y COMO SE CONSTRUYE

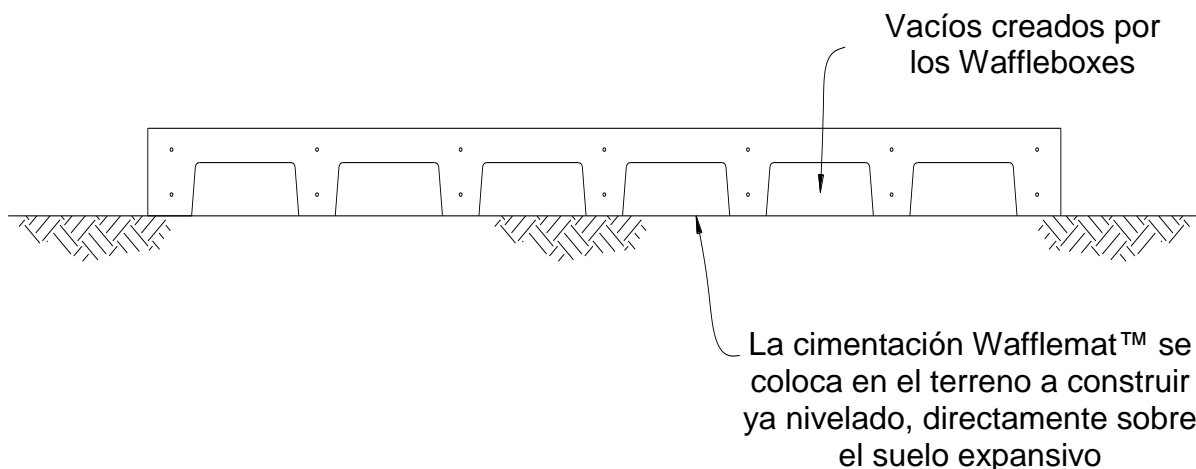
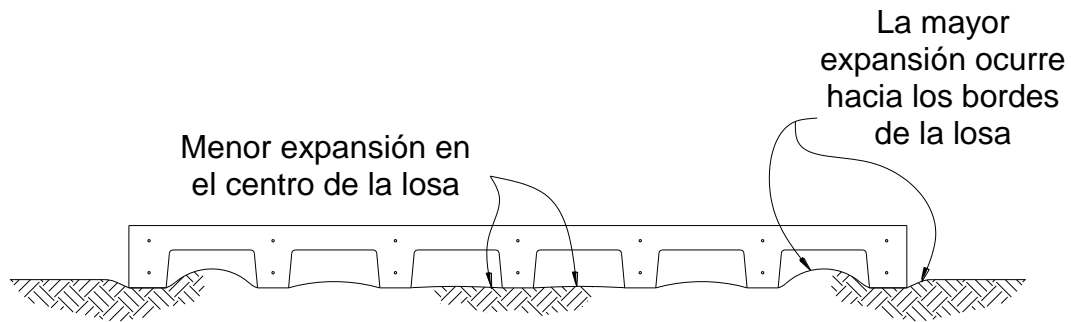


Fig. 14 – DURANTE LA EXPANSIÓN DEL SUELO



### 3. VENTAJAS DE UTILIZAR UNA CAPA DE MATERIAL DE BANCO

- 3A. Si la capa de suelo expansivo es delgada, el remover toda la capa de suelo expansivo y reemplazarlo con una capa de material de banco elimina completamente el problema de expansión del suelo. Dependiendo de la profundidad de la capa de suelo expansivo, esta podría ser la mejor solución en costo total.
- 3B. Las características de la terracería compuesta por material de banco a utilizar, así como su distribución en el terreno a construir puede ser determinadas por un Ingeniero Geotécnico.

### 4. DESVENTAJAS DE UTILIZAR UNA CAPA DE MATERIAL DE BANCO

- 4A. Una terracería con material de banco, en los casos más comunes, no eliminará los problemas de expansión de las capas subyacentes de suelo. Esto es especialmente significativo cuando se trata de una capa de suelo profunda, con contenido de humedad inestable, y particularmente cuando sobre esas cimentaciones se construyen casas de una o dos plantas, que representan poco peso.
- 4B. El costo de (1) excavar, retirar y disponer el suelo expansivo, (2) comprar el material de banco para relleno, y (3) importar y re compactar el material de banco, puede ser muy alto.



- 4C. El suelo que originalmente existía en el terreno a construir pudiera consolidarse bajo el peso del material de banco.
- 4D. Las emanaciones de bióxido de carbono se incrementan sustancialmente debido al uso adicional de medios de transporte, requeridos para la exportación e importación de suelo, y debido al uso de maquinaria pesada, necesario para los trabajos de terracería.
- 4E. El agua subterránea y el agua de lluvia se continuarán filtrando a través de las capas permeables de material de banco, dirigiéndose hacia la capa de suelo expansivo, donde la expansión de ese suelo será inevitable al paso del tiempo.
- 4F. Se requerirá de los servicios de un especialista en mecánica de suelos para realizar las pruebas pertinentes al material de banco una vez colocado y compactado, para asegurarse de que el suelo importado cumple con las especificaciones del diseño de terracerías.

## **5. CONCLUSIONES**

Losa Nervada, Losa de Espesor Uniforme y la Losa Reforzada de Hawái no absorberán las fuerzas de elevación generadas por el suelo expansivo, cuando estas fuerzas excedan la carga gravitacional total de la capa de material de banco, la cimentación y la estructura. Estas cimentaciones están en contacto total con el suelo. Una vez rebasado el punto de equilibrio de las cargas verticales, dichas cimentaciones presentarán desplazamientos. Estas cimentaciones resisten los agrietamientos y deflexiones provocados por las fuerzas verticales, gracias a la rigidez en su diseño estructural. Sin embargo, la Losa Nervada y la Losa Reforzada de Hawái requieren excavación en la capa de material de banco, para las nervaduras excavadas que le proveen rigidez. Estas excavaciones representan costo y tiempo adicionales.

La cimentación con Zapata Corrida (al igual que aquellas que utilizan Pilotes con trabes y piso elevado) generalmente evitarán las fuerzas del suelo expansivo, siempre y cuando la superficie inferior de contacto de los elementos enterrados de la cimentación se apoyen en suelo expansivo libre de variaciones de humedad, o en suelo no expansivo.

El suelo expansivo puede ejercer fuerzas de levantamiento en las superficies enterradas de Pilotes y Zapatas Corridas. La cimentación con Zapata Corrida

implica considerables gastos y tiempo requerido para excavación, cimbrado y colado de los apoyos de concreto, remoción y disposición del suelo, y apuntalamiento del piso elevado.

El Sistema Wafflemat™ está diseñado específicamente para absorber la presión del suelo en expansión. Se construye directamente sobre el suelo expansivo del terreno previamente preparado – usando la misma técnica que cuando se construye una Losa de Espesor Uniforme. No requiere excavaciones adicionales ni importación de material de banco, tal y como ocurre con la Losa de Espesor Uniforme. El tiempo de construcción con el Sistema Wafflemat™ es comparable al tiempo requerido para la construcción de la Losa de Espesor Uniforme. Sin embargo, el Sistema Wafflemat™ ofrecerá mayor rigidez por metro cúbico de concreto y absorberá el suelo en expansión y disipará casi en su totalidad la presión de expansión del suelo.

Adicionalmente, el Sistema Wafflemat™ contribuye con una emisión de carbono muy baja, porque no requiere de excavación, ni de importación de material de banco, comparado con lo requerido para las cimentaciones Losa Nervada, Losa Reforzada de Hawái o Zapata Corrida. Así mismo, utiliza plástico reciclado en la fabricación de los Waffleboxes que forman los vacíos en la cimentación con el Sistema Wafflemat™.

- FIN -