

IV.- ANÁLISIS PARA CIMENTACIONES EN SUELOS EXPANSIVOS

Un gran número de factores, y no todos técnicos, influyen en los tipos de cimentación, en el método de diseño y en las prácticas de tratamiento. Algunos de estos factores incluyen las variaciones del clima, de las condiciones del suelo, del estilo de vida presente en la región, de normas jurídicas, de normas ambientales, etc.

Ahora bien, el proyecto de ingeniería debe de considerar el tipo de cimentación o método a implementar, mucho de esto en función del costo, por lo que se debe de tener en cuenta un precio bajo en el sistema lo que en algunos casos resulta ser una viable alternativa pero que puede contener un alto grado de riesgo para la estructura.

Hay que destacar que pueden usarse tres métodos generales ***para reducir o vitar los efectos*** de la expansión. Estos son:

- Aislar la estructura de los materiales expansivos;
- Proyectar una estructura que soporte sin daño las expansión, y por último
- La eliminación de la expansión.

Se utilizan los tres procedimientos, ya sea por separado o en combinación.

Como los suelos expansivos son usualmente firmes y no contienen agua libre, frecuentemente son excelentes terreno de cimentación.

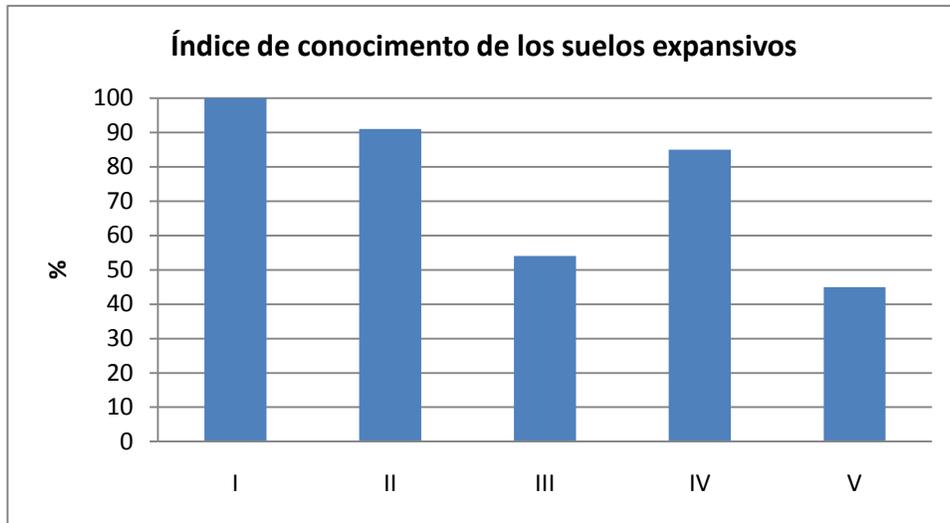
La eliminación de la expansión puede efectuarse en un principio de tres maneras:

- Humedeciendo del terreno previamente hasta que la humedad tenga un valor igual al de equilibrio; además que no puede garantizarse que la humedad permanecerá constante.
- Tratando que las cargas hacia el suelo sean iguales o excedan las presiones producidas por la expansión, o bien,
- Impidiendo la expansión con tratamientos y/o con un control del suelo.

Estos últimos tres puntos entrarán a discusión más adelante.

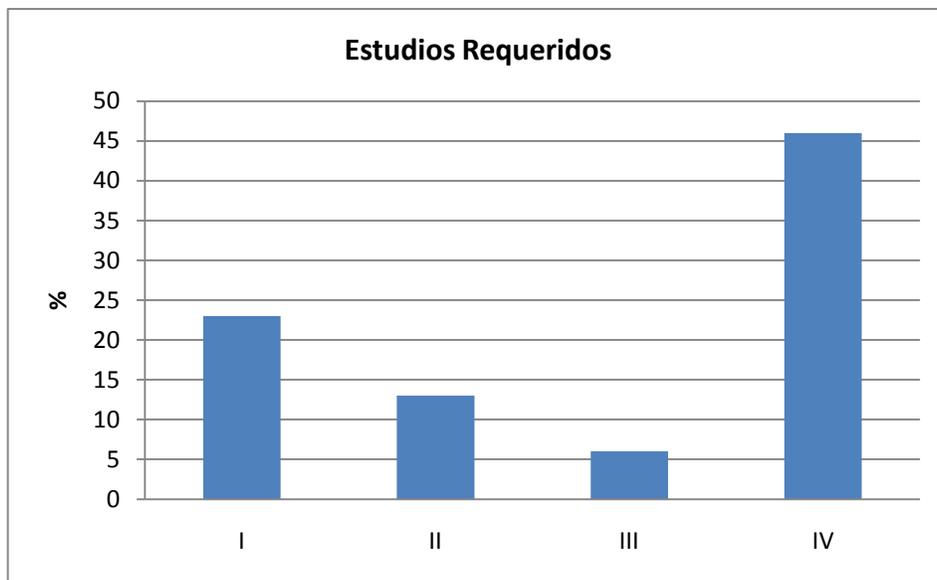
IV. A Alternativas de cimentaciones estructurales

Se tiene un análisis estadístico de una de las zonas con mayor actividad de este tipo de suelos en el país, Querétaro, en la cual se generó una base de datos enfocada en el conocimiento de los constructores acerca del fenómeno así como el tipo de estructura que más se emplean bajo este tipo de suelo. A continuación de muestran los resultados (M. L. Pérez-Rea, 1998):



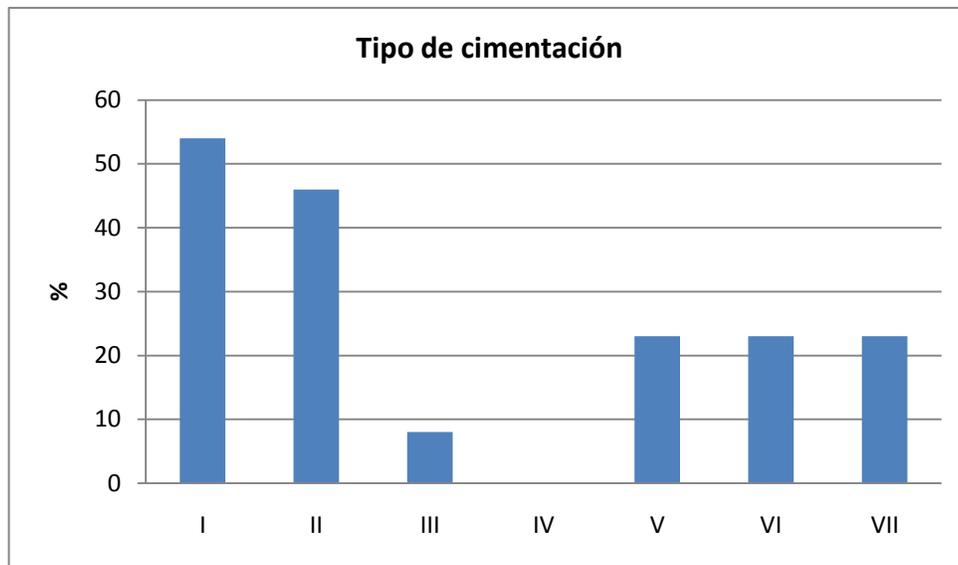
Gráfica IV.1

- I.- Los conocen
- II.- Los han enfrentado
- III.-Cimentaron sobre ellos
- IV.-Usaron métodos especiales
- V.-Tuvieron problemas



Gráfica IV.2

- I.- Capacidad de Carga
- II.- Pozos a cielo abierto
- III.- Expansividad
- IV.- Mecánica de suelos tradicional (no expansividad)



Gráfica IV.3

I.- Zapata corrida

II.- Losa de cimentación

III.- Pilotes

IV.- Mampostería

V.- Sustitución

VI.- Mejoramiento del suelo

VII.- Zapatas aisladas

IV.A.1 Tipos de cimentación

IV.A.1.1 Zapatas aisladas

Este tipo de cimentación no se usa comúnmente sobre suelos expansivos. Donde se usan las zapatas aisladas usualmente se aplican técnicas especiales con el fin de incrementar el esfuerzo de contacto de modo que minimice la expansión del suelo, tales como:

- Disminuir el ancho de la base de la zapata.
- Colocar el muro de cimentación directamente sobre el terreno, sin zapata.
- Proveer de espacios vacíos entre las vigas de soporte y el muro para concentrar las cargas en puntos aislados.
- Incrementar el esfuerzo en el perímetro y en los pisos para incrementar la rigidez de la cimentación.

Este tipo de cimentaciones puede usarse donde las capas superiores de los suelos expansivos son delgadas y además se puede alcanzar un estrato estable de suelo no expansivo. Es recomendable que el uso de este tipo de cimentación sea en casos tales como:

- Donde los estratos superficiales de suelo tengan potencial de expansión moderado, menor de 1%.
- Donde existan presiones de expansión bajas.
- Y además la capacidad de carga de dichos estratos superficiales sea relativamente alta, con ello se debe de vigilar las cargas sobre las zapatas no exceda dicha capacidad.
- En algunos casos zapatas con bases pequeñas, generalmente menores que 30 cm, han sido usadas para incrementar el esfuerzo de contacto con lo que se trata de minimizar la expansión. Sin embargo el bulbo de presiones, en el cual se incrementan los esfuerzos, es suficiente para reducir la expansión hasta una profundidad de aproximadamente dos veces el ancho de la zapata. En la mayoría de la veces esta profundidad es mucho menor que la capa activa, por lo que este tipo de cimentación es inefectiva para prevenir la expansión.

Su gran desventaja está ligada a las variaciones de expansión que se puede presentar en este tipo de suelo, lo que puede provocar daños a la estructura.

IV. A.1.2 Zapatas corridas

El empleo de las zapatas corridas deberá limitarse a suelos con potencial de expansión menor de 1% y una presión de expansión menor a 15 ton/m².

Este sistema tiene la misma limitación que la anterior y su éxito se reduce a la disminución de la expansión. Por lo que la superestructura deberá ser relativamente flexible. La concentración de la carga en la zapata se logra proveyendo un espacio vacío bajo las vigas teniendo en cuenta nunca sobrepasar la capacidad del suelo; es importante asegurarse de que las presiones de expansión en los bordes de la zapata se minimicen o se prevengan.

IV.A.1.3 Losas de cimentación

Las losas de concreto reforzadas con contratraveses entrecruzadas en la parte inferior han sido usadas exitosamente como cimentaciones en suelos expansivos de estructuras relativamente pesadas. Las losas de cimentación son un excelente sistema de cimentación en áreas donde los basamentos son muy profundos o donde las condiciones de los suelos

expansivos se extienden a gran profundidad, lo que hace que el empleo de pilotes sea extremadamente costoso.

Usualmente se refuerza con contratraveses para darle mayor rigidez. La arcilla se remueve en un cierto espesor (se recomienda que el espesor del suelo excavado no sea menos que un metro) y se sustituya a ese suelo por un material de mejoramiento, de baja plasticidad medianamente compactada, que sirva para “amortiguar” las expansiones de la arcilla.

La capa de mejoramiento debe estar formada por un material de baja expansibilidad, como una arena limosa o un limo arenoso. En ocasiones se emplea la misma arcilla expansiva mejorada con cal (Calderón y Alonso, 1998; López Lara coautores, 2000), o bien se puede emplear una mezcla de la arcilla con caliche (Ordóñez y Aguilar; 2002). Si no se cuenta con material no plástico a un costo razonable, se pueden alterar las características expansivas excavando y recompactando el suelo arriba de la humedad óptima con un mediano grado de compactación (Nelson y Miller, 1992; Preciado Garrica, 1998).

En ciertos casos, ésta clase de cimentación tiene la ventaja de que elimina la capa de arcilla expansiva de mayor actividad y que su costo es relativamente bajo. Sin embargo, como no se elimina la totalidad de la capa activa continúan presentándose movimientos del suelo, lo que en ocasiones producen daños en la estructura que está arriba de la arcilla expansiva. Estos daños consisten en agrietamiento de muros, de trabes, de losas, etcétera.

Los procedimientos de diseño, básicamente consisten en la determinación del momento flexionante, el cortante y la deflexión, debidos a las cargas de la estructura y a los patrones de expansión del suelo. Los parámetros del suelo incluyen la cantidad de expansión libre del terreno, la flecha máxima de expansión, y el modulo de la deformabilidad del suelo.

IV.A.1.3.1 Consideraciones de diseño

El diseño de losas de cimentación se basa en la interacción suelo estructura. El procedimiento de diseño consiste en predecir la forma de deformación, el peso y la rigidez del suelo así como también de la losa. Considerando que la interacción suelo-estructura permite determinar el cortante y los momentos flexionantes a los cuales estarán sometidos los elementos.

La forma de la superficie del suelo que se desarrollará bajo la losa depende de la expansión, la rigidez del suelo, de las condiciones iniciales de humedad, de la distribución

de la humedad, el clima, el tiempo de la construcción, las cargas estructurales, rigidez de la losa y de muchas otras variables.

IV.A.1.4 Pilotes

La cimentación con pilotes se usa en combinación con traveses las cuales se diseñan para soportar la carga estructural y transferir el esfuerzo distribuido a los pilotes. Se puede dejar un espacio vacío debajo de las vigas entre los pilotes, donde, este espacio aislará la estructura del suelo y prevendrá que la presión de expansión afecte las traveses, además de que ayuda a concentrar la carga sobre los pilotes para contrarrestar las presiones de expansión.

Los pilotes pueden ser de concreto reforzado, acampanados en el fondo o no. La función principal de los pilotes es transmitir la carga estructural a la zona de contacto o a la de anclaje. Se tiene los siguientes métodos:

- Pilotes acampanados en la parte inferior en un estrato estable para poder soportar una columna medianamente anclaje por fricción.
- Pilotes largos, perforado en zona estable sin ninguna afectación por parte del los cambios de humedad en áreas de suelos expansivos.

IV.A.1.4.1 Consideraciones de diseño

La mayor preocupación en los suelos expansivos es la fuerza de expansión ejercida por la hinchazón del suelo a lo largo de las paredes del pilote en la zona activa. Se debe de tener cuidado en la estimación de la profundidad de la zona activa cuando se diseña este tipo de pilotes.

En el caso de los pilotes, el espacio entre el suelo y la pared del pilote puede proporcionar un acceso para el agua a profundidades significativas. Esto es particularmente crítico si el agua penetra los estratos o incrementa el nivel freático, por lo que hay que tener especial cuidado en sellar el espacio entre el suelo y el pilote.

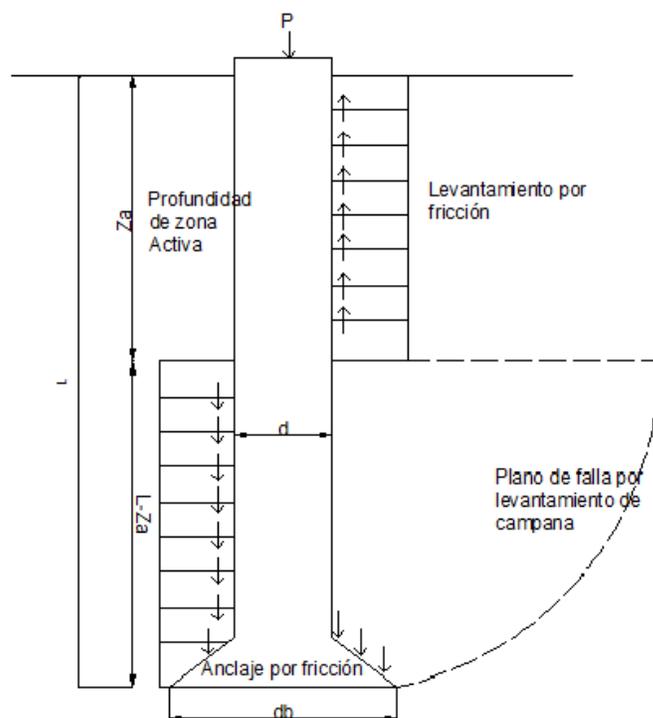


Ilustración IV.1 Fuerzas que actúan en una pila rígida en suelos expansivos

Deben de considerarse dos criterios de diseño de pilotes en suelos expansivos: el movimiento hacia arriba de la parte superior y las fuerzas de tensión desarrolladas en el mismo.

Existen técnicas que pueden ser empleadas para disminuir la adhesión en la zona de levantamiento que incluyen la colocación de fundas y/o mangas de polietileno, papel o cartón saturado de asfalto e impregnado de alquitran o capas exteriores de PVC. Materiales como las gravas no deben de utilizarse porque pueden proveer un camino para que el agua accese a capas profundas lo que provocaría expansiones.

IV.A.1.5 Encofrados

Una solución conveniente para pisos apoyados, de fácil construcción y que permite que el suelo se hinche liberando el poder expansivo, consiste en la colocación de elementos de concreto abovedados en su interior. Los losetones se colocan unidos con mortero formando una losa hueca en su interior para absorber la expansión de la arcilla.

Otro sistema para las losas estructurales pequeñas consiste en extender moldes de tubos partidos fabricados de materiales especiales y colocados unos junto a otros lateralmente para formar viguetas. Los moldes permanecen intactos durante el colado del concreto pero se desintegran después de varios días. También se pueden colocar pacas cilíndricas redondas de paja adosadas una junto a la otra para llenar el espacio debajo de la losa armada. A este sistema se le conoce como encoframiento.

IV. B Tratamiento de suelos

Los tratamientos del suelo son viables para tener una estabilización del suelo antes y después de la construcción de las estructuras, estos incluyen:

- Control del contenido de humedad.
- Reemplazo del suelo.
- Pre humectación.
- Aditivos químicos.
- Métodos térmicos.

El éxito de la aplicación de estos métodos depende de la experiencia y de tipo de suelo que este en sitio, de los límites de los métodos a elegir así como la correcta implementación de los procedimientos. El tratamiento debe ser elegido dependiendo de los siguientes factores:

- Tamaño del proyecto.

- Naturaleza y usos del proyecto (variaciones de esfuerzos requeridos y máximos cambios de volumen que pueden ser tolerados como por ejemplo para una pistas de aeropuerto, autopistas o casas habitación).
- Costos.

IV. B.1 Control de la humedad

Una opción razonable para evitar el fenómeno de la expansión se deduce del principio de la misma: tener un control en el contenido de humedad del suelo. Hay que mencionar que es prácticamente imposible prevenir un incremento en el contenido de agua del suelo pero si es posible tener un control de la tasa de variación y minimizar las fluctuaciones estacionales.

Ha sido común el uso de drenes alrededor de la cimentación, para evitar la presencia de agua en el subsuelo. Ahora bien, la succión de las arcillas expansivas es alta y la permeabilidad es baja, consecuentemente los drenes perimetrales son prácticamente inútiles para evitar la expansión debajo de la cimentación por lo que refleja una desventaja que deja esta opción a consideración.

Ahora bien, se pueden evitar los cambios del contenido de la humedad del suelo debido a la evapotranspiración por medio de pozos de diámetro pequeño excavados alrededor del la cimentación. Una cabeza de tubo es conectada a cada uno de estos pozos, y a su vez estos son conectados a una letrina con un control del nivel del agua lo cual nos permite mantener un descenso constante en el nivel del agua. Su ventaja es que tiene un mantenimiento de bajo costo.

IV.B.1.1 Barreras horizontales y verticales.

El levantamiento no uniforme será resultado de cualquiera de los dos, el contenido no uniforme del cambio del contenido de agua, las condiciones de no uniformidad del suelo o ambos. Sí las fluctuaciones en el contenido de agua sobre un tiempo pueden ser minimizadas y sí el contenido de agua del subsuelo se puede hacer uniforme entonces gran parte del problema puede ser mitigado. Las barreras de humedad han sido usadas como técnicas de previas a la construcción y como una medida de remedio.

La colocación de una estructura o pavimento sobre la superficie del suelo cambiará la evapotranspiración de la superficie. Cambios en el uso de suelo, tales como irrigación de terrenos de cultivo, cambiará el potencial de infiltración. Estos cambios, sucesivamente, cambiarán el contenido de agua y la distribución del agua dentro del subsuelo. Sí los cambios en el contenido de humedad pueden hacerse que ocurran lentamente y sí la distribución del contenido de agua puede hacerse de una manera uniforme, el levantamiento puede ser minimizado.

El principio básico por el cual las barreras actúan es para evitar daños en la cimentación o estructura a causa de un aumento de humedad debido a la acumulación de agua y minimizar las fluctuaciones estacionales del contenido de humedad directamente debajo de la estructura. El tiempo durante el cual los cambios de humedad ocurren es muy largo porque la barrera incrementa la duración del paso para la migración de agua debajo de la estructura. Esto permite para el contenido de agua sea más uniformemente distribuido debido a la acción de la capilaridad en el subsuelo. De esta manera, el levantamiento ocurrirá más despacio y de una manera más uniforme.

IV.B.1.1.A Barreras horizontales

Las barreras horizontales pueden ser clasificadas como membranas, barreras rígidas o barreras flexibles.

IV.B.1.1.A.i Membranas

Cubiertas impermeables varían, en grados y espesores, y han sido usadas como membranas horizontales. Polietileno, desde 4 a 20×10^{-3} de pulgada de espesor, poli cloruro de vinilo (PVC), polipropileno, polipropileno de alta densidad, y otros tipo de tejidos han sido usados con varios grados de éxito. Para membranas de menos de 10×10^{-3} de pulgada de espesor requieren de cuidado especial para evitar que se pinche la cubierta durante el colocado. El cuidado debe ser enfocado para preparar la superficie del sitio de colocación por eso se debe de retirar todo el material que pueda dañar a la cubierta así como también la materia vegetal y orgánica. Cuando son usadas alrededor del perímetro de una construcción se deben poner a profundidades tales para prevenir el daño de raíces.

Las plantas largas deben ser eliminadas o movidas lejos de la barrera a una distancia de al menos una a una y media veces la altura de la planta. Se puede ayudar a la eliminación del agua por medio del empleo de subdrenes colocados en el borde de la membrana los cuales deben tener una pendiente suficiente para evitar encharcamientos.

IV.B.1.1.A.ii Asfalto

El asfalto ha sido comúnmente utilizado en la construcción de carreteras como una membrana para prevenir la intrusión de agua de la superficie dentro de la subrasante. Las membranas de asfalto pueden ser usadas un conjunción con otros materiales, como por ejemplo, se pueden utilizar rellenando por encima de las capas de suelo expansivo con capas de suelos no expansivo así se minimiza la probabilidad de que penetre agua a la capa con suelo expansivo. Cuando el asfalto es rociado, la superficie debe ser alisada y ser liberada de escombros para prevenir que el agua penetre al suelo expansivo.

IV.B.1.1.A.iii Barreras Rígidas

Pisos de concreto o banquetas son comúnmente usados como barreras horizontales de humedad alrededor de la cimentación de las construcciones. Éstas barreras, en conjunto con membranas flexibles o asfalto han funcionado de una manera exitosa en mantener estable los contenidos de humedad. Para este tipo de barreras se debe diseñar una junta flexible entre la barrera y la estructura, así como también se debe de proveer una pendiente a la misma para evitar la acumulación del agua cerca de la cimentación y para ello es recomendable el uso de drenes.

IV.B.1.1.B. Barreras Verticales

Las barreras verticales funcionan de la misma manera que las barreras horizontales. Sin embargo, las barreras verticales son más efectivas que las barreras horizontales en retardar la migración lateral de humedad en el suelo.

Las barreras verticales deben ser instaladas al menos a una profundidad a la cual las variaciones estacionales no influyan demasiado en el contenido de humedad del suelo. Esto no es práctico, en general, a la profundidad total de la zona activa, pero a una profundidad de media a dos terceras partes de la zona activa es recomendable su colocación. Si las barreras no pueden ser instaladas a la vez en que se realiza la construcción, deben ser colocadas de 0.5 a 1 m alejadas del trazo de la estructura para permitir la maniobrabilidad del equipo de excavación. En dado caso que se tenga que utilizar barreras horizontales, éstas se deben de conectar con las verticales fuera del borde de la estructura.

Los tipos de materiales que pueden ser empleados para membranas verticales incluyen materiales como polietileno, concreto, mezclas impermeables semi endurecidas. Las membranas deben de ser de material duradero para resistir pinchazones o rasgaduras durante su colocación.

IV. B. 2. Estabilización del suelo

El remplazo y la alteración química son de igual manera viables para tener un control con suelos expansivos.

IV. B.2.1 Reemplazo

En este método consiste en reemplazar el suelo expansivo o sustituirlo por otro no expansivo. Los factores que se necesitan considerar son: la profundidad de remoción y la extensión, así como la localización y el costo del llenado.

La profundidad se puede determinar por medio de pruebas de laboratorio, a través de la identificación de la zona activa.

Tabla IV. 1

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Un suelo no expansivo puede ser compactado beneficiando a la capacidad de carga. • El costo de reemplazo puede ser más económico que otros procedimientos de estabilización (a juicio). • El tiempo de reemplazo es menor que otros procesos como la pre humectación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de llenado. • A grandes espesores no es económicamente viable.

IV. B. 2.2 Pre humectación

La técnica consiste en humedecer previamente el suelo hasta obtener la expansión del suelo antes de construir la obra de ingeniería. Debido a que el suelo arcilloso tiene una baja permeabilidad el tiempo destinado para lograr la humectación requerida es excesivo. Así, la capacidad de carga del suelo al ser humedecido disminuye.

Las fisuras presentes pueden favorecer a la humectación del suelo, sin embargo a profundidades mayores no se logra suministrar agua necesaria al suelo para que alcance un estado deseado.

IV.B.2.3 Estabilización química

El agregado químico más empleado en la estabilización del suelo es a través de la adición de cal o cemento.

Si los suelos son de cal reactiva se recomienda la adicción de 3 a 8% de cal por peso de suelo, esto puede reducir la plasticidad y el potencial de expansión del suelo e incrementar su límite de contracción. El método más efectivo para añadir la cal es el de mezclado en sitio, ya sea a través de procesos mecánicos por medio de una grada de discos, arados de rejas, o rotavator para obras pequeñas, es caso de obras de mayor magnitud se puede recurrir a los “estabilizadores de suelo” o pulverizadores de eje horizontal.

La arcilla se excava a una determinada profundidad haciendo terrones de 10 a 15 cm de tamaño. La cal puede ser agregada seca, humedecida o en estado líquido sobre el proceso anterior. La estabilización por medio de cemento es un método similar al de la cal. Trae como resultados la reducción del límite líquido, el índice de plasticidad y del potencial de cambio de volumen al igual que un incremento en el límite de contracción y de fuerza cortante.



Ilustración 4.2 Grada de disco, arados de rejas y rotavator.



Ilustración 4.3 Estabilizador de suelo