



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ACATLAN

HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES NO ADMISIBLES EN  
UNIDADES HABITACIONALES DEL VALLE DE MEXICO Y  
AREA METROPOLITANA.

SEMINARIO TALLER EXTRACURRICULAR  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
ALEJANDRO MATEO CORTES HERNANDEZ

ASESOR: ROLANDO REYES GRECO

m3403 86

FEBRERO DE 2005



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

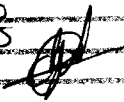
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A los señores miembros de la Comisión de  
Cuentas de la Secretaría de Hacienda e Interior al  
contenido de mi trabajo excepcional.

NOMBRE: Cortés Hernández

Alejandro Mateo

FECHA: 26-01-2005

FIRMA: 

## Dedicatorias

A Don Manuel y Doña Conchita, mis Padres

A Juan, Sole y Edith, mis Hermanos

A Dios, que se lució con esta familia

## Agradecimientos:

A la Facultad de Estudios Superiores Acatlán  
Por todas las oportunidades

A los profesores del Seminario-Taller extracurricular:  
"Diseño y construcción de unidades habitacionales",  
por todo el apoyo que nos brindaron.

M. en I. Rolando Reyes  
Ing. Leonardo Álvarez  
M. en I. Ignacio Lizarraga  
Ing. Abel Ángel López  
M. en I. Héctor Vázquez

A todos mis compañeros del seminario  
Por su amistad y compañerismo

A la empresa Ingenieros Cuevas Asociados, en particular a  
los Ingenieros Alberto Cuevas R. y Juan Manuel Cuevas O.,  
Por su apoyo y por permitirme el honor de participar con ellos, así como a todos  
mis compañeros y amigos  
de esta empresa.

A los Ingenieros Gabriel Palmerin, Federico Trocino y Amado Carranza, cada  
uno en su momento creyó en mí y compartieron conmigo su amistad y sus  
conocimientos

Al Ing. Fernando Arenas, a las Arquitectas Silvia Martínez y Adriana Elías por  
su apoyo para la materialización de este trabajo.

## **ÍNDICE**

## **Página**

### **INTRODUCCIÓN**

i

### **CAPÍTULO I.**

1

#### **Importancia de los hundimientos diferenciales no admisibles en unidades habitacionales del Valle de México**

a) Definiciones

2

b) Particularidades de hundimientos en unidades habitacionales.

13

c) Aspectos sociales.

16

Conclusiones del Cap. I

21

Fuentes de consulta del Cap. I

23

### **CAPÍTULO II.**

25

#### **Causas más frecuentes de hundimientos diferenciales en el Valle de México y área metropolitana.**

a) Deficiencias en el diseño geotécnico.

26

a.1 Diseño insuficiente de cimentación.

26

a.2 Excentricidad de cargas.

27

a.3 Incremento de esfuerzos por sismo

29

a.4 Tratamiento inadecuado de expansiones

31

a.5 Tratamiento inadecuado a colindancias

34

a.6 Tratamiento de arcillas expansivas

38

b) Problemas asociados al hundimiento regional.

42

b.1 Condición abrupta en la zona de transición.

43

b.2 Deseccación causada por vegetación

46

c) Deficiencias durante el proceso constructivo.

49

c.1 Incumplimiento de especificaciones.

49

c.2 Saturación del material de desplante.

52

Conclusiones Cap. 2	54
Anexo II.1 Análisis de distribución de esfuerzos bajo un área cargada	55
Fuentes de consulta Cap. 2	61
<b>CAPÍTULO III.</b>	<b>63</b>
<b>Técnicas de renivelación más utilizadas en unidades habitacionales del Valle de México y área metropolitana.</b>	
a) Lastre	64
b) Subexcavación.	66
c) Recimentación.	70
d) Casos ilustrativos	77
Conclusiones Cap. 3	89
Anexo III.1 Pilotes de control mecánico.	90
Anexo III.2 Unidades habitacionales desahuciadas como consecuencia de hundimientos diferenciales.	92
Anexo III.3 Fabricación de lodo fraguante para restitución de suelo en trabajos de subexcavación.	95
Fuentes de consulta Cap. 3	99
<b>CONCLUSIONES GENERALES.</b>	<b>101</b>
Fuentes de consulta generales	105

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, se explica cuál es el daño que ocasionan los hundimientos diferenciales a las unidades habitacionales en el Valle de México, así como que causas originan dicho fenómeno, y las técnicas existentes para revertir el daño causado a las estructuras, así como el procedimiento constructivo de cada una.

En el Capítulo I se explican cuáles son las características generales del fenómeno, en qué rangos se les puede considerar tolerables o inadmisibles; la trascendencia del mismo dentro de un conjunto habitacional, tanto en el aspecto estructural y geotécnico como en el aspecto social y administrativo; por otro lado, se mencionan las acciones que ha llevado a cabo el instituto de vivienda respecto a la cuestión de los hundimientos.

En el Capítulo II se aborda el aspecto analítico de los hundimientos diferenciales, bajo que condiciones se originan, cómo funciona el mecanismo de falla; cuál es el patrón de comportamiento de las estructuras afectadas; cómo se pueden prever o atenuar los efectos del mencionado fenómeno y qué situaciones propician o favorecen la ocurrencia de los hundimientos diferenciales.

En el Capítulo III se detallan qué opciones de técnicas o procedimientos constructivos existen para atender casos de hundimientos diferenciales, las características de cada uno; así como sus ventajas y desventajas, y bajo qué circunstancias se pueden emplear unas u otras técnicas; finalmente se ilustra mediante experiencias personales, algunos casos prácticos en los que se han realizado trabajos de nivelación de inmuebles en unidades habitacionales en el Valle de México, y en consecuencia distinguir cual procedimiento ha resultado ser el más empleado para nivelación, y por qué.



## **CAPÍTULO I.**

# **Importancia de los hundimientos diferenciales no admisibles en unidades habitacionales del Valle de México.**

Objetivo: Destacar la problemática y trascendencia de la existencia de hundimientos diferenciales en unidades habitacionales del Valle de México.

- a) Definiciones.
- b) Particularidades de hundimientos en unidades habitacionales.
- c) Aspectos sociales

## A) DEFINICIONES

Por principio, se establece como área de estudio para el presente trabajo el Valle de México y algunas zonas del área metropolitana; considerando como marco de referencia la zonificación geotécnica de dicha región Fig. 1.2.

La inclinación de una estructura, ocurre como resultado del comportamiento deficiente de una cimentación ante fuertes asentamientos diferenciales Fig,1.1.



Fig. 1.1 Hundimiento diferencial en una unidad habitacional en Tultitlan, Mex.

Para comprender el fenómeno se deben tener claros dos parámetros: *compresibilidad* y *consolidación*, estos se asocian a cualquier tipo de suelo, pero, en el Valle de México, estos parámetros adquieren particular importancia, por lo que es conveniente mencionar brevemente sus características.

## **Compresibilidad y consolidación de los suelos.**

### *COMPRESIBILIDAD*

Cualquier material experimenta deformación cuando se le sujeta a un cambio en sus condiciones de esfuerzo. Las características de esfuerzo-deformación de los materiales estructurales, tales como el concreto o el acero son hoy suficientemente bien comprendidas para la mayoría de las aplicaciones prácticas y pueden determinarse en el laboratorio con razonable grado de confianza.

La deformación de los suelos, aun bajo cargas pequeñas, es mucho mayor que la de los materiales estructurales; además, esa deformación no se produce, usualmente, en forma simultánea a la aplicación de la carga, sino que se desarrolla en el transcurso del tiempo. Así, cuando un estrato de arcilla soporta un edificio pueden ser necesarios muchos años para que la deformación del suelo se complete.

Es cierto que los materiales estructurales muestran una pequeña capacidad a seguirse deformando bajo carga constante; sin embargo, el proceso de deformación de las arcillas tiene lugar casi siempre en un largo lapso posterior a la aplicación de la carga propiamente dicha; como resultado, es posible que el agrietamiento de una estructura pueda ocurrir años más tarde que su erección, sin que el proyectista pueda preverlo, a no ser que tenga presente en forma correcta el comportamiento de los suelos<sup>1</sup>.

Por lo anterior, la predicción de la magnitud del asentamiento y el tiempo en que este se desarrolla son objetivos fundamentales del buen diseño de cualquier cimentación.

---

<sup>1</sup> Juárez Badillo, Eulallio, Mecánica de suelos tomo I, Ed. Noriega, México D.F. p245.

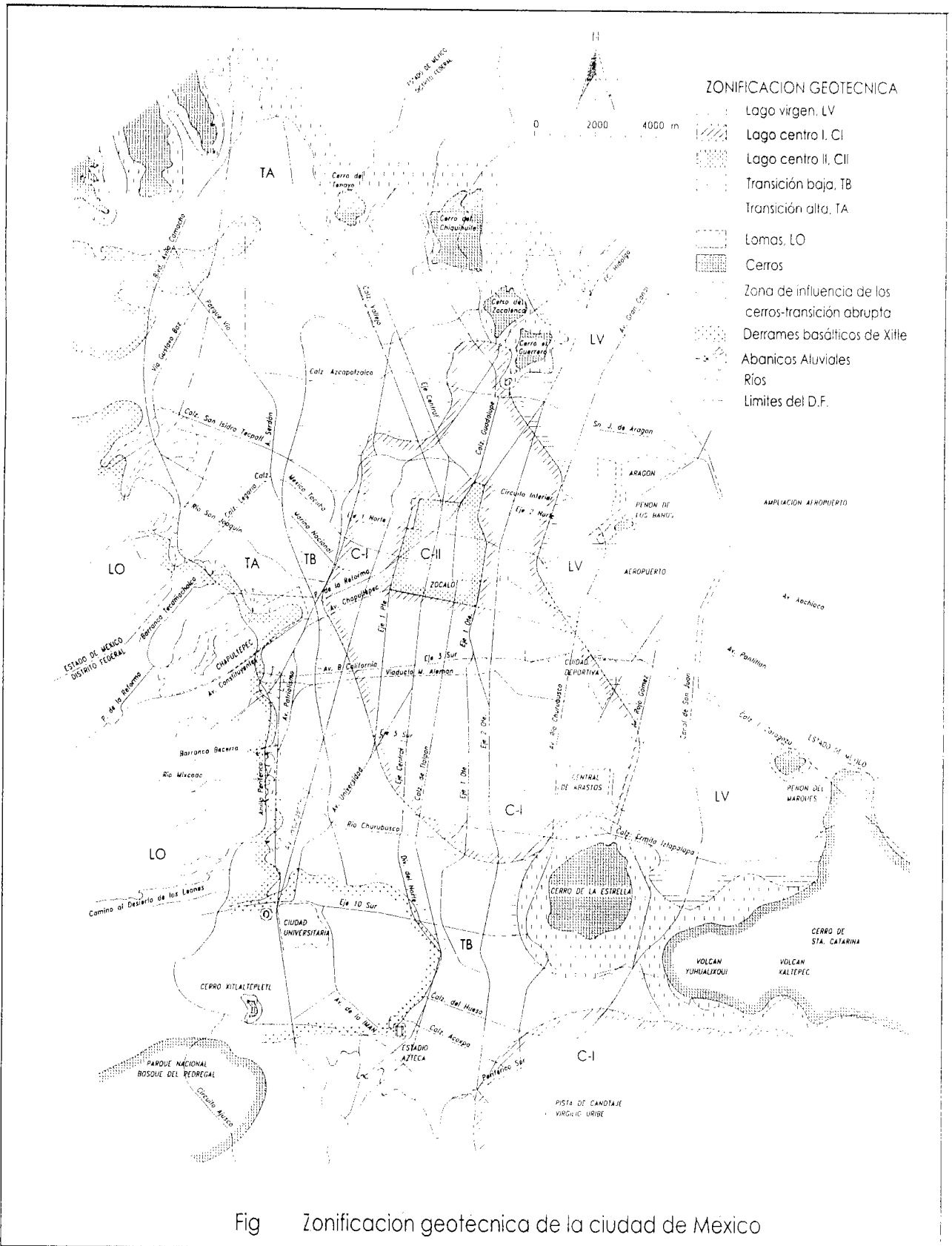


Fig Zonificación geotécnica de la ciudad de México

La magnitud de un asentamiento depende de dos factores:

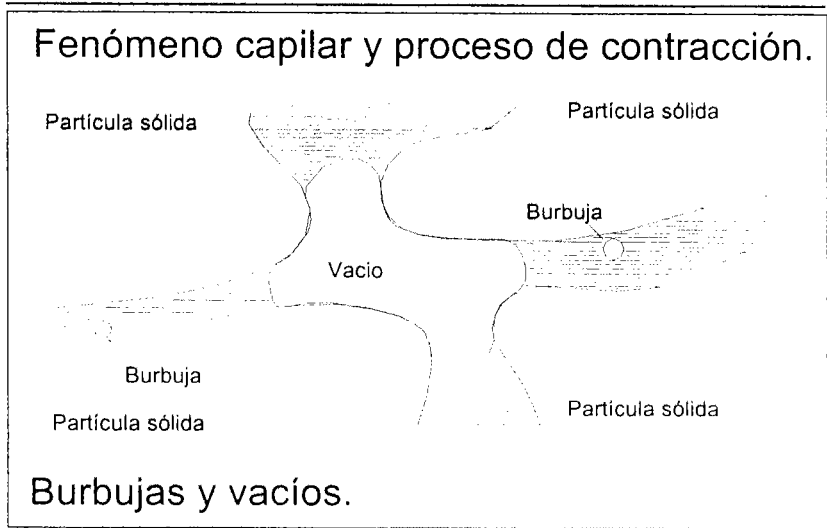
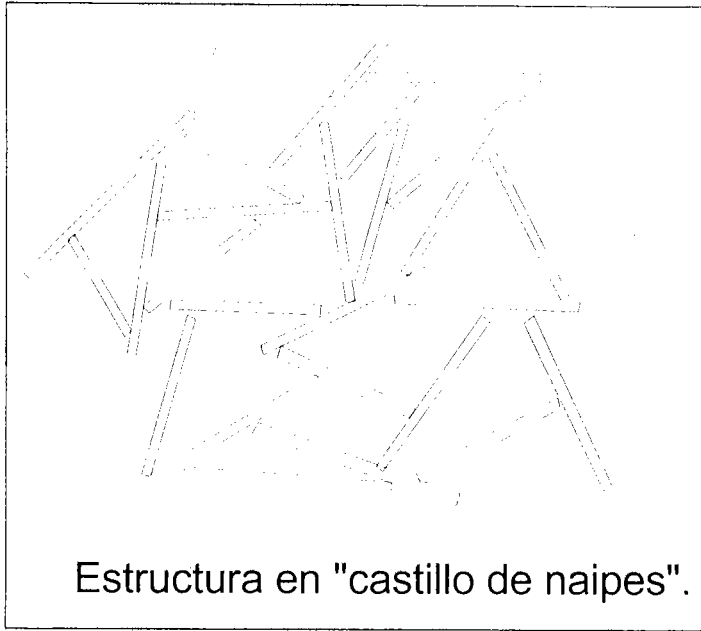
- La compresibilidad volumétrica y espesor de cada una de los estratos de suelo que se encuentran bajo el cimiento.
- La intensidad y distribución de los esfuerzos inducidos por las cargas de la estructura.

La deformación volumétrica tiene a su vez dos componentes:

1. La deformación de las partículas sólidas al aumentar la presión entre sus contactos.
2. La disminución del volumen de los poros de la masa de suelo producido por el desplazamiento relativo de las partículas al deslizarse y encontrar un nuevo equilibrio (*Fig. 1.3*).

El tiempo en que se desarrolla el asentamiento depende, principalmente, de los siguientes factores:

- Coeficiente de consolidación de los suelos de cada estrato, el cual es una función directa del coeficiente de permeabilidad e inversa del módulo de compresibilidad volumétrica.
- El espesor de los estratos compresibles y la ubicación de las fronteras de drenaje de cada estrato.



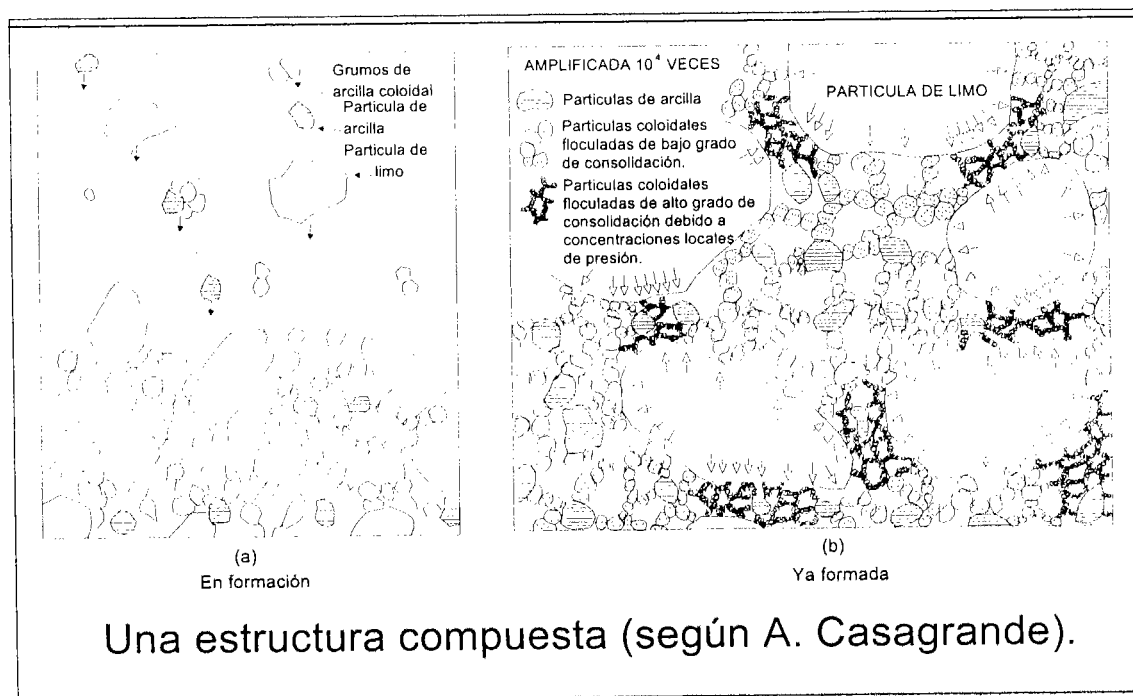
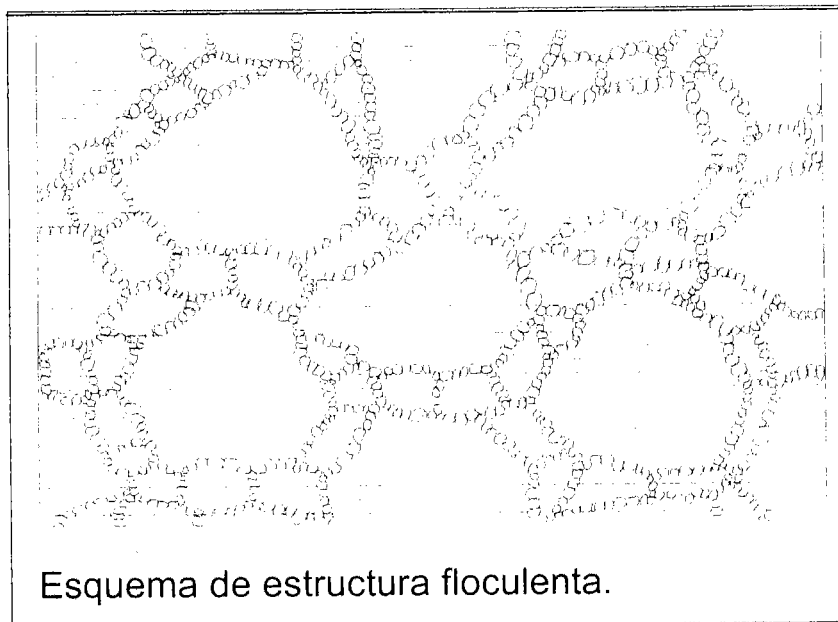


Fig 1.3 Al observar los tipos de estructura natural que puede tener una masa de suelo, es comprensible, que al ser modificado el estado de esfuerzos dicha estructura tendrá variaciones al igual que sus partículas.

## CONSOLIDACIÓN.

Si los poros del suelo están totalmente llenos de agua (suelo saturado), al disminuir el volumen de los poros se expulsa un volumen de agua igual al decremento del volumen de los poros. Si la masa de suelo tiene grandes dimensiones y baja permeabilidad, se requerirá un cierto tiempo posterior de la aplicación de la carga, para que se realice la expulsión del agua de los poros tome lugar el cambio de su volumen. Al proceso natural mediante el cual un suelo saturado se comprime bajo la acción de una carga, reduciendo el volumen de los poros y expulsando agua, se le llama proceso de consolidación.<sup>2</sup> Fig 1.4

Al hablar de consolidación de suelos en el Valle de México estará también presente el fenómeno de hundimiento regional, el cual dada su inherencia en el tema que nos ocupa, se considera conveniente mencionarlo en el ámbito de las definiciones. Este se debe a que el bombeo que se realiza con fines de abastecimiento de agua para la zona urbana ha producido el abatimiento de los niveles piezométricos, en algunos de los casos superiores a los 20 metros. Este abatimiento de presión en los acuíferos provoca flujo de agua en los mantos arcillosos hacia ellos, con la correspondiente consolidación de las arcillas, acompañada de la pérdida de volumen.<sup>3</sup>

## ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES

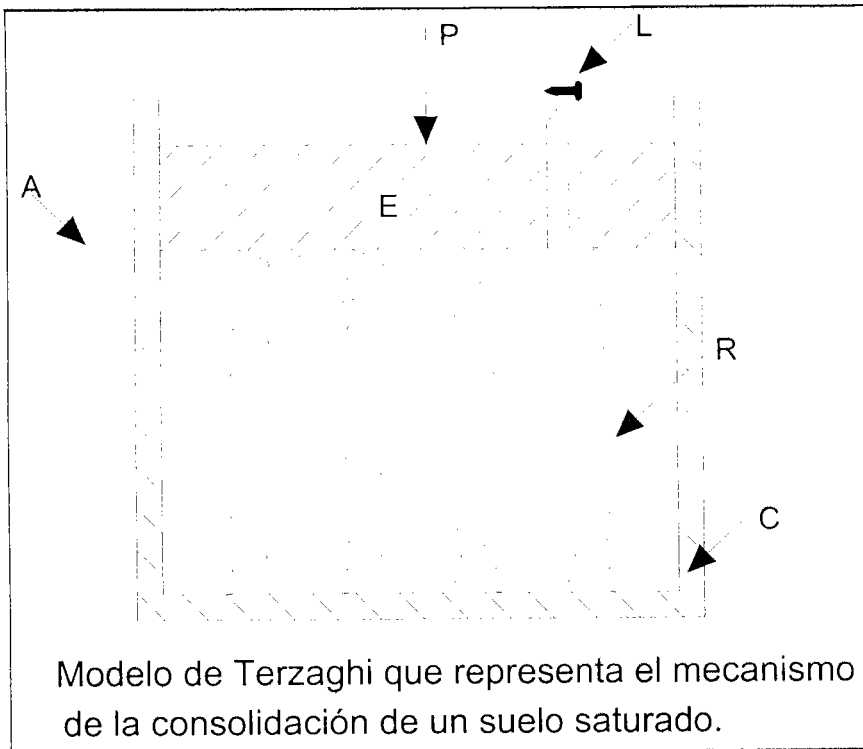
A continuación se define brevemente el concepto de *asentamiento diferencial*, y en que circunstancias se le considera inadmisibles.

---

<sup>2</sup> Taméz González, Enrique, *Ingeniería de cimentaciones*, Ed TGC, pp 128, 129.

<sup>3</sup> Juárez Badillo, Eulalio, *Mecánica de suelos Tomo II*, Ed Limusa, pp 129.





*Fig. 1.4 El esquema que representa el modelo de la analogía de Terzaghi ilustra claramente el proceso de consolidación de los suelos saturados; en ella se muestra esquemáticamente un cilindro C dentro del cual desliza un émbolo E de área  $A_e$  y peso  $P_e$ ; el émbolo se supone herméticamente ajustado al cilindro y sin fricción contra sus paredes. Una serie de resortes R que representan a las partículas del suelo, soportan el peso del émbolo. El espacio restante está lleno de agua, que simula al agua del suelo saturado, la cual llega al nivel A de la base inferior del émbolo y se encuentra a la presión atmosférica; esta presión está equilibrada por la que actúa sobre la base superior del émbolo. Por lo tanto, el peso  $P_e$  está soportado totalmente por los resortes.*

La observación del comportamiento real de las estructuras flexibles, o de baja rigidez, o como las estructuras continuas de baja altura, con dos o tres niveles o áreas relativamente grandes, indica que aún siendo su carga uniforme, cuando están apoyadas en superficies de suelo compresible de gran espesor, los asentamientos producidos al centro del área son mayores que los de las esquinas y el centro de los lados del rectángulo, deformándose la estructura, según una superficie curva, que se asemeja a un paraboloides con la concavidad hacia arriba. O bien como ocurre en la actualidad cuando el grado de consolidación difiere de

un punto a otro de la cimentación se genera una diferencia de asentamientos entre el punto de mayor consolidación al de menor consolidación, independientemente, de que se trate de un área uniformemente cargada, aunque por supuesto, cuando además existe excentricidad entre el centro de carga de la estructura y el centro geométrico de la cimentación, inevitablemente se presentará un hundimiento diferencial.

En las *normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones* (NTC-CIM) del reglamento de construcciones para el Distrito Federal, se prevén los parámetros en los que se define cuándo una estructura ha entrado en estado de inseguridad tanto para sí misma como para las estructuras colindantes, se establece que para la revisión de la seguridad de una cimentación, se debe evaluar su comportamiento ante estados límites de falla, lo cual consiste en comparar la capacidad de carga del suelo contra las acciones de diseño, afectando la capacidad de carga neta de la cimentación con un factor de resistencia y las acciones de diseño con sus respectivos factores de carga.

La revisión de la cimentación ante estados límite de servicio se hará tomando en cuenta los límites indicados en la Tabla 1 (NTC-CIM).

**Tabla 1** Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación\*

<b>a) Movimientos verticales (hundimiento o emersión)</b>		
<i>Concepto</i>		<i>Límite</i>
Valor medido en el predio	Emersión	Construcciones aisladas Construcciones colindantes
	Asentamiento	30 cm** 15 cm 30 cm**
Velocidad del componente Diferido		1cm/semana

<b>b) Inclinación media</b>		
<i>tipo de daño</i>	<i>Límite</i>	<i>Observaciones</i>
Inclinación visible	$100/(100+3h) \%$	h= altura de la construcción (m)
Mal funcionamiento de Grúas viajeras	0.30%	En dirección longitudinal

<b>c) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas</b>		
<i>Tipo de estructura</i>	<i>Variable que se limita</i>	<i>Límite</i>
Marcos de acero	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.006
Marco de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Muros de carga de ladrillo recocido o bloques de Cemento	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.002
Muros con acabados muy sensibles, como yeso, piedra ornamental, etc	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.001 Se tolerarán valores mayores en la medida que la deformación en ocurra antes de colocar los acabados o estos se encuentren desligados de los muros
Paneles móviles o muros con acabados poco sensibles, Como mamposterías con juntas secas.	Relación entre el asentamiento diferencial y el claro	0.004
Tuberías de concreto con juntas.	cambios de pendiente en las Juntas	0.015

\* Comprende la suma de movimientos debido a todas las combinaciones de carga que se especifican en el reglamento y las NTC. Los valores de la tabla son solo límites máximos y en cada caso habrá que revisar que no se cause ninguno de los daños mencionados en el artículo 224 del reglamento.

Por otra parte, también se utiliza en estructuras continuas de concreto, los incrementos de esfuerzos producidos por asentamientos diferenciales que exceden de 0.003 del claro no son admisibles, de acuerdo al criterio de la Tabla 2.

**Tabla 2** Asentamientos admisibles para distintos tipos de estructuras

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Asentamiento vertical</i>	
	<i>Diferencial</i> $\Delta\rho a$	<i>Máximo</i> $\rho a$
Muros de carga:  mampostería de ladrillo, bloques de concreto o piedra más de un piso un piso	  0.0005L 0.001L	  0.001L 0.002L
Estructuras de concreto Marco rígido	0.003L	0.006L
Estructuras de acero Marco rígido Simplemente apoyadas	 0.004L 0.006L	 0.008L 0.012L

**Nota:**  $L$  es el claro entre columnas y la longitud del muro  
 $\rho a$  es el esfuerzo admisible <sup>4</sup>

En el capítulo 2 se retomará esta información y se ahondará en cuestiones relacionadas con el análisis y diseño.

<sup>4</sup> Tamez Gonzalez, Enrique, *Ingeniería de cimentaciones*, Ed TGC, pp231

## B) PARTICULARIDADES DE LOS HUNDIMIENTOS DIFERENCIALES EN UNIDADES HABITACIONALES.

Aunque el diseño de una cimentación puede ser diferente para cada condición, en el caso de la vivienda de interés social, debido al tipo de estructuras (relativamente ligeras), es común que del resultado del análisis se determinen cimentaciones someras (zapatas, losas, cajones de cimentación, etc.) como solución del basamento.

En México, se sabe que, ocasionalmente, los promotores de vivienda y algunas compañías dedicadas a la geotecnia, utilicen criterios inapropiados al analizar y proponer soluciones de cimentación. Ocurre por ejemplo, que el promotor solicite al especialista en geotecnia la solución de cimentación para un modelo tipo de casa o edificio, el cual se pretende reproducir infinidad de veces dentro de un proyecto global, contando con información insuficiente, acerca de la planta de conjunto y/o la distribución o modulación de las estructuras tipo dentro del proyecto.

Lo anterior trae como consecuencia que el geotecnista carezca de una visión completa que le permita prever situaciones desfavorables que puedan presentarse debido a la interacción de esfuerzos por la cercanía entre estructuras.

El asentamiento diferencial obedece a que los esfuerzos que se presentan al centro de un área uniformemente cargada, respecto a los extremos de dicha área; lo que aplicado a nuestro caso, puede resultar que después de revisar la cimentación de una estructura tipo de manera aislada, ésta arroje valores *admisibles* de asentamiento diferencial; sin embargo, al construir demasiado cerca dos ó más de estas estructuras tipo, se puede dar el caso de que el conjunto de áreas se comporte como una sola área cargada y se concentren los esfuerzos de las diferentes estructuras al centro del conjunto, generando un asentamiento diferencial que resultará *inadmisible* Fig 1.5.

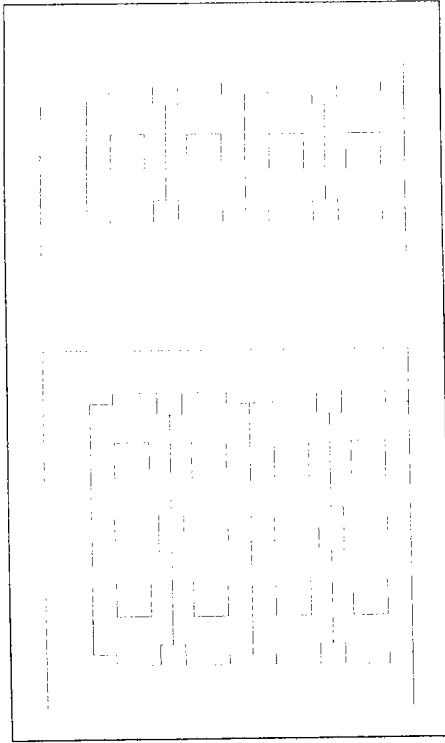
En ocasiones el promotor de vivienda, se concentra en optimizar sus recursos y procedimientos constructivos con el fin de generar el mayor volumen viviendas en un tiempo record, y en ocasiones pierde de vista ciertos cuidados referentes a la estabilidad de los suelos. En ocasiones, durante el proceso constructivo, se presentan tendencias de hundimientos diferenciales, teniéndose entonces oportunidad de realizar acciones para revertir el daño, o bien evitar que el hundimiento evolucione a niveles inadmisibles. Sin embargo, por razones subjetivas, en muchos casos se opta por realizar los trabajos de nivelación hasta el momento en que las edificaciones han entrado al rango de inseguridad estructural.

Cabe recordar que no todas las deformaciones en el suelo ocurren durante el proceso de construcción, se dan casos en los que el origen de algunos problemas de este tipo, se encuentren fuera del predio; como puede ser el caso de que en el predio colindante se construya una estructura, en la que no se tomen las consideraciones adecuadas para evitar afectaciones a los predios vecinos.

Se han comentado, algunas condiciones en las que pueden generarse hundimientos diferenciales, ya sea por causas atribuibles a errores de diseño, deficiencias durante procesos constructivos y a influencia de estructuras colindantes. Sin embargo, puede ocurrir que el responsable (involuntario) sea el mismo ocupante de la vivienda: Dando al inmueble un uso diferente para el cual fue diseñado; construyendo ampliaciones inadecuadas que no tengan en cuenta las características estructurales de la vivienda. En ambos casos, el promotor puede deslindarse de la responsabilidad de las fallas que puedan generar dichos proceder.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Consorcio ARA, *Manual del Propietario ARA Conjunto Urbano San Buenaventura*, pp 17.



*Fig. 1.5 En los desarrollos habitacionales es común encontrar distribuciones similares a las que se muestran, donde los edificios se agrupan en conjuntos, contando cada edificio con una estructuración independiente, incluyendo su cimentación, en estos casos, si no se tiene presente el principio que nos dice que siempre en un área cargada cualquiera, los esfuerzos serán mayores al centro que en sus bordes, por lo que su cimentación debe ser diseñada con la rigidez suficiente para no verse afectada por esto, este requisito se cumple sin problema para cada edificio, sin embargo, al agruparse varios de estos edificios, el conjunto se comporta como una sola área cargada, la cual, al no contar con suficiente rigidez, dado que sus losas de cimentación son independientes, como consecuencia se presentará un mayor hundimiento al centro del conjunto.*

## C) ASPECTOS SOCIALES

Partiendo de experiencias personales se puede establecer, que de cuatro obras de renivelación en unidades habitacionales, en las que he participado, al menos en tres de ellas los trabajos se llevaron a cabo en la etapa posterior a la construcción, es decir, cuando las viviendas se encontraban ya ocupadas por los "propietarios". En tales circunstancias, es difícil mantenerse al margen de la inconformidad y la molestia que predominan en el ánimo de los habitantes de dichos inmuebles, en este ambiente, es razonable incluir el aspecto social como parte inherente al problema de los hundimientos diferenciales en unidades habitacionales.

De conversaciones sostenidas con algunos miembros de comités de vecinos de viviendas afectadas por hundimientos diferenciales<sup>6</sup>, coinciden en el hecho de que las gestiones que debieron realizar para que fueran atendidas sus quejas, resultaron ser lentas y "engorrosas", ya que según sus propias versiones, hasta donde fue posible el promotor trato de evadir responsabilidades y de minimizar el problema. La situación no fue distinta para quienes acudieron directamente al organismo de vivienda, donde en primera instancia encontraron lentitud y burocracia para las gestiones, en ambos casos, no fue sino hasta después de varios años que sus quejas comenzaron a ser atendidas. En muchos de los casos, los afectados recurren a la suspensión de pagos como instrumento de presión para que se atiendan sus problemas de hundimientos, o bien, pretenden sacar provecho para obtener retribución o bonificación en el pago de su vivienda<sup>7</sup>.

Contrario a la opinión de muchos propietarios de viviendas afectadas, en los últimos años el Instituto del Fondo Nacional de Vivienda de los Trabajadores

---

<sup>6</sup> Noemi Barrutieta, representante de vecinos de los edificios afectados de una Unidad Habitacional ubicada en Iztapalapa, México D.F.; Alejandra Domínguez representante de vecinos de las casas 1 a 28 de una Unidad Habitacional en Coacalco, Edo Mex.

<sup>7</sup> Exposición del Arq. Luis Javier Sánchez Guerrero, Director Técnico de la SOFOL General Hipotecaria, durante la sesión del día 28 de octubre de 2003, del Seminario-taller extracurricular "Diseño y construcción de unidades habitacionales".



(INFONAVIT) ha estado en continua actividad enfocada a atender los problemas de hundimientos diferenciales en el país.

En el informe de actividades del INFONAVIT correspondiente al ejercicio 2001 en el apartado referente a aspectos técnicos y supervisión de obra, dice textualmente:

*“En lo que se refiere a conjuntos habitacionales que presentan diversos problemas de hundimientos diferenciales, fallas estructurales, entre otros, quedaron en proceso de atención seis conjuntos en el estado de México; cinco en el Distrito Federal; dos más en otras ciudades de la republica”.*<sup>8</sup>

Con el objeto de contar con una estrategia integral para atender la situación de conjuntos habitacionales que por diversas causas se ven afectados por hundimientos diferenciales, se presentó a la H. Comisión de Vigilancia una propuesta para prevenir y atender problemas técnicos en conjuntos habitacionales, propuesta que a su vez fue replanteada por la Comisión Primera de la Asamblea del INFONAVIT, (designada por la Asamblea General de dicho instituto), en su sesión ordinaria número 81, que analizó el informe anual de actividades correspondiente al ejercicio 2001, en consecuencia dicha comisión extendió un dictamen con veintiún recomendaciones, de estas, *una de las tres recomendaciones*<sup>9</sup> que se refieren a garantizar la calidad de las viviendas se cita textualmente:

***Recomendación 19.*** *Que a efecto de contar con una alternativa para la atención de los problemas de los conjuntos financiados por el instituto, se estudie la conveniencia de suscribir un seguro, **que cubra los daños por hundimientos diferenciales y movimientos del subsuelo.***<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> H. Asamblea general del INFONAVIT, *Informe anual de actividades del INFONAVIT correspondiente al ejercicio 2001*, 5 Aspectos técnicos; 5.3 Supervisión de obra.

<sup>9</sup> En el anexo 1<sup>a</sup> se citan textualmente las otras dos recomendaciones referentes al rubro.

<sup>10</sup> H. Asamblea General del INFONAVIT, *Recomendaciones de la Comisión Primera de la Asamblea General Ordinaria del INFONAVIT*, puntos 17, 18 y 19

Dicha recomendación fue tomada en cuenta por la asamblea general del instituto y a principios del 2003 fue oficialmente ofertada a seis compañías de seguros que operan en el país, a continuación se citan algunos fragmentos tomados del acta de aclaraciones del procedimiento de licitación pública para la contratación de la póliza de riesgo de pérdida o daño físico que cubra a todas las viviendas financiadas por el instituto.

El INFONAVIT propone sea incluida una cláusula que considere los daños ocasionados por geodinámica externa:

... **Geodinámica Externa.** *Estas pueden ser ocasionadas por movimientos diferenciales naturales, por deformación vertical u horizontal, debido a cargas naturales, asentamientos o hundimientos diferenciales; fallas propias del terreno..*<sup>11</sup>

Por su parte Seguros Comercial América argumenta:

Que muchos daños de ese tipo obedecen a problemas relacionados a extracción de agua del subsuelo y reducción de agua freática, es decir, en muchos casos ocurren en forma paulatina y que nos son riesgos súbitos o fortuitos, tal y como es la cobertura tradicional de una póliza, por lo que se solicita dejar sin efecto dicho rubro, ya que son elementos que no cubre ningún mercado nacional o internacional de seguros. Y solicita además que el INFONAVIT proporcione los estudios de mecánica de suelos que constaten la integridad de la estabilidad geotécnica de la totalidad de las viviendas, y afirma además que de presentarse incidente alguno, no se cubrirá en la póliza si no existe dicho estudio de mecánica de suelos con fecha de inicio o de los primeros meses de la vigencia del seguro. Cuestionando además al instituto sobre la posibilidad de disponer de tal cantidad de información oportunamente. Anticipando que en todo caso el monto de

---

<sup>11</sup> Comisión de Vigilancia de la Asamblea General del INFONAVIT, “Acta de aclaraciones del procedimiento de licitación pública 16/2003 para la contratación de la póliza de riesgo de pérdida o daño físico que cubra a todas las viviendas financiadas por el instituto”, punto 47

recuperación otorgado por el seguro no excedería en ninguna circunstancia los 200,00.00 pesos M.N.

A todo lo anterior el representante del INFONAVIT se limitó a indicar que los argumentos propuestos para ser incluidos en la cobertura de la póliza fueron concertados con especialistas en la materia, y que para el caso se realizarían convenios con el Reaseguro Internacional; indicando finalmente que las aseguradoras deberían apegarse a las bases de la licitación y en función de ellas realizar sus ofertas.<sup>12</sup>

Lo anterior permite apreciar, que los hundimientos en unidades habitacionales, no son cuestiones aisladas ni irrelevantes para el INFONAVIT, ya que en el informe del 2001; en las recomendaciones realizadas por la Comisión Primera; en la propuesta de póliza; así como en el acta de aclaraciones de la licitación con las compañías de seguros, el asunto referente a hundimientos diferenciales, es de los pocos problemas técnicos que se señalan literalmente.

Por su parte, la Procuraduría Social del Gobierno del Distrito Federal (PSGDF), confirma la existencia de al menos 10 casos (Tabla 3)<sup>13</sup> de unidades habitacionales con problemas de inclinación y daños asociados a hundimientos diferenciales. Así mismo, durante la búsqueda de información para este trabajo se pudo apreciar que en diversas delegaciones y municipio los problemas de hundimientos diferenciales son también botín de campaña para partidos políticos y continuamente se les encuentra en órdenes del día de la Asamblea Legislativa del D.F., y en reuniones de protección civil del Gobierno del Estado de México.

---

<sup>12</sup> Comisión de Vigilancia de la Asamblea General del INFONAVIT, "Acta de aclaraciones del procedimiento de licitación pública 16/2003 para la contratación de la póliza de riesgo de pérdida o daño físico que cubra a todas las viviendas financiadas por el instituto", respuestas a los incisos a, b, c, d, e, f, g, del punto 47.

<sup>13</sup> Muñiz Luis, *El Universal Gráfico* (Jueves 9 de octubre de 2003), *Unidades vecinales bomba de tiempo*.

**Tabla 3,** Casos de hundimiento diferencial registrados ante el gobierno del D.F.

<b>N°</b>	<b>Unidad Habitacional</b>	<b>Daño detectado</b>
1	Patera Vallejo III	Hundimiento e inclinación de edificios
2	Nueva Tenochtitlan	Separación entre edificios (18cm)
3	Ermita Zaragoza	Desplome, recargamiento de viviendas
4	Pantitlán	Hundimiento entre sus ocho edificios
5	Tacubaya	Fisuras entre sus muros
6	Santa Martha Acatitla	Hundimientos, grietas y destrucción de muros
7	Linda Vista Vallejo	Inclinación de edificios
8	Venustiano Carranza	Fractura de entrepisos y losas
9	Plan Tepito	Fisuras en escaleras
10	La Cantera Peñón Viejo	Inclinación de edificios

## CONCLUSIONES CAPÍTULO I

En cuestiones de mecánica de suelos, las deformaciones verticales en el Valle de México (entre ellas las que generan hundimientos diferenciales), suelen estar asociadas a dos factores: compresibilidad y consolidación, el primero, obedece a la variación de esfuerzos en la masa de suelo que ocasiona la aplicación de una carga, la cual produce deformaciones; la consolidación es la disminución de volumen de la masa de suelo, debida a la expulsión o extracción del agua contenida en sus poros.

Directamente involucrado con el fenómeno de consolidación está el hundimiento regional, ya que al extraer mediante bombeo cantidades importantes de agua, se modifica el estado de esfuerzos en la masa de suelo, generándose un hundimiento que afecta regiones enteras del Valle de México, específicamente a la zona del lago, y en menor grado a la zona de transición.

Un hundimiento diferencial puede ocurrir bajo diversas circunstancias, pero, mientras dicho diferencial no exceda el estado límite de servicio establecido en las NTC-CIM se considerará que una edificación es estructuralmente segura (hundimiento diferencial admisible), sin embargo, si el valor del diferencial excede dicho parámetro, la estructura será considerada insegura, se dice entonces que el diferencial es inadmissible.

Aunque los hundimientos diferenciales pueden ocurrir en cualquier tipo de estructura, es de particular interés que se presenten con cierta recurrencia en unidades habitacionales, quizá porque debido a la dinámica de construcción propia de algunos promotores de vivienda, estos, pierdan de vista ciertos cuidados enfocados a garantizar la estabilidad de los inmuebles, o bien, desde su etapa de diseño se arrastren deficiencias que no hayan sido detectadas oportunamente. Sin embargo, en muchos casos los hundimientos pueden obedecer a causas ajenas al diseño y construcción de la unidad habitacional en cuestión.

Una prueba contundente de que los hundimientos diferenciales son considerados como un problema grave para el INFONAVIT, es el hecho de que este organismo esté promoviendo la creación de un seguro contra daños físicos (entre los que específicamente se mencionan los hundimientos diferenciales), ya que es mucho el impacto social que se genera, así como la inconformidad y descontento entre los afectados. Lo que puede repercutir en el retraso de pagos y desprestigio tanto del promotor como del mismo instituto.

## FUENTES DE CONSULTA, CAPÍTULO I

1. Arnal Simón, Luis, *Nuevo reglamento de construcciones para el Distrito Federal*, Ed. Trillas pp 610
2. H. Asamblea general del INFONAVIT, *Informe anual de actividades del INFONAVIT correspondiente al ejercicio 2001*, 5 Aspectos técnicos; 5.3 Supervisión de obra.
3. H. Asamblea General del INFONAVIT, *Recomendaciones de la Comisión Primera de la Asamblea General Ordinaria del INFONAVIT*, puntos 17, 18 y 19
4. Comisión de Vigilancia de la Asamblea General del INFONAVIT, “*Acta de aclaraciones del procedimiento de licitación pública 16/2003 para la contratación de la póliza de riesgo de pérdida o daño físico que cubra a todas las viviendas financiadas por el instituto*”, punto 47
5. Comisión de Vigilancia de la Asamblea General del INFONAVIT, “*Acta de aclaraciones del procedimiento de licitación pública 16/2003 para la contratación de la póliza de riesgo de pérdida o daño físico que cubra a todas las viviendas financiadas por el instituto*”, respuestas a los incisos a, b, c, d, e, f, g, del punto 47.
6. Consorcio ARA, *Manual del Propietario ARA Conjunto Urbano San Buenaventura*, pp 17,
7. Juárez Badillo, Eulallio, *Mecánica de suelos tomo I*, Ed. Noriega, México D.F. p245.
8. Juárez Badillo, Eulalio, *Mecánica de suelos Tomo II*, Ed Limusa, pp 129.
9. Muñiz Luis, *El Universal Gráfico* (Jueves 9 de octubre de 2003), Unidades vecinales bomba de tiempo.
10. Noemí Barrutieta, representante de vecinos de los edificios afectados de una Unidad Habitacional ubicada en Iztapalapa, México D.F.; Alejandra Domínguez representante de vecinos de las casas 1 a 28 de una Unidad Habitacional en Coacalco, Edo Mex.
11. Sánchez Guerrero, Luis Javier Director Técnico de la SOFOL General Hipotecaria, durante exposición la sesión del día 28 de octubre de 2003, del Seminario-taller extracurricular “Diseño y construcción de unidades habitacionales”.
12. Tamez González, Enrique, *Ingeniería de cimentaciones*, Ed TGC, pp 128, 129.

## **CAPÍTULO II.**

### **Causas más frecuentes de hundimientos diferenciales en el Valle de México y área metropolitana.**

Objetivo: Explicar y analizar las causas más frecuentes de hundimientos diferenciales en el Valle de México en relación a unidades habitacionales.

#### **1. Causas de hundimientos diferenciales.**

- a) Deficiencias en el diseño geotécnico.
  - a.1 Diseño insuficiente de cimentación.
  - a.2 Excentricidad de cargas.
  - a.3 Incremento de esfuerzos por sismo
  - a.4 Tratamiento inadecuado de expansiones
  - a.5 Tratamiento inadecuado a colindancias
  - a.6 Tratamiento de arcillas expansivas
  
- b) Problemas asociados al hundimiento regional.
  - b.1- Condición abrupta en la zona de Transición.
  - b.2- Desecación causada por vegetación
  
- c) Deficiencias durante el proceso constructivo.
  - c.1- Incumplimiento de especificaciones.
  - c.2- Saturación del material de desplante.

#### **CONCLUSIONES**

Anexo II.1 Análisis de distribución de esfuerzos bajo un área cargada.



## 1. Causas de hundimientos diferenciales.

La determinación de las causas que generan un hundimiento diferencial, es **importante para precisar el método mas adecuado de nivelación**, permitirá definir si esta es factible; e incluso, si es detectado a tiempo, existe la posibilidad de revertir y/o “frenar” el hundimiento antes que este alcance rangos inadmisibles.

En base al estudio de varias publicaciones de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS), así como de algunas experiencias personales, las causas de hundimientos diferenciales en el Valle de México, se pueden clasificar en tres grupos:

- Deficiencias en el diseño geotécnico
- Problemas asociados al hundimiento regional
- Deficiencias durante el proceso constructivo

Aunque puede ocurrir que dicho fenómeno obedezca simultáneamente a diferentes causas, a continuación se explicará brevemente cada clasificación.

### a) **Deficiencias en el diseño geotécnico.**

En teoría, si se dispone de la totalidad de la información de cada caso, sería posible evitar desde la etapa de diseño, la ocurrencia de fenómenos como el del hundimiento diferencial, aunque en realidad, la mayoría de los casos analizados para la realización del presente trabajo, no se originaron durante la etapa de diseño, sin embargo, ha llegado a ocurrir que por omisión o mala apreciación se propicien hundimientos diferenciales desde la etapa de diseño.

#### **a.1 Diseño insuficiente de cimentación.**

Para llegar al diseño geotécnico de una cimentación, por lo regular se ejecuta previamente una campaña de exploración, donde se obtuvieron muestras que al ser ensayadas en laboratorio permitan determinar las propiedades y

características del suelo donde se planea construir el inmueble, paralelamente, se debe contar con información suficiente acerca de las características del proyecto, bajadas de cargas, estructuración, distribución, etc.

Con la información mencionada será posible determinar el tipo de cimentación, profundidad de desplante, capacidad de carga admisible del suelo de sustentación y los asentamientos generados por la transmisión de carga a la masa de suelo; finalmente se revisará su comportamiento en condiciones dinámicas: incremento de esfuerzos inducidos por sismo y giro máximo de la cimentación.

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus NTC-CIM, establecen una serie de requerimientos mínimos que debe cumplir una cimentación para que la estructura se considere segura y estable.

Para el caso que nos ocupa, si un diseño se realiza utilizando los parámetros mínimos permitidos de distorsión angular y asentamientos, la cimentación estará más propensa a tener un comportamiento deficiente que si sus parámetros se ubicarán en rangos mas seguros.

## **a.2 Excentricidad de cargas.**

La estructuración de un inmueble, así como la distribución de cargas, suelen estar en función de un diseño arquitectónico que ya ha sido previamente establecido, y dadas algunas tendencias arquitectónicas, es común que los diseños carezcan de simetría, por lo que al no ser simétrico el diseño arquitectónico, en ocasiones (si no se tiene cuidado) tampoco lo será la distribución de cargas. Y consecuentemente, existirá una diferencia entre las coordenadas del centro de cargas del inmueble y las del centro geométrico de la cimentación, a esta diferencia se le conoce como excentricidad, y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$e_i = \| Cc_i - Cg_i \|$$

donde:  $e_i$       excentricidad en sentido x y y  
 $Cc_i$       coordenadas del centroide de cargas  
 $Cg_i$       coordenadas del centroide de la cimentación

Igualmente, la excentricidad se puede expresar como porcentaje ( $e\%$ ):

$$e_{\%} = \frac{e_i}{Cg_i} \times 100$$

La excentricidad de carga genera un momento de volteo conocido como momento estático ( $M_e$ ) que se origina por las cargas de la estructura en condiciones estáticas

Se considera que el porcentaje de excentricidad admisible no debe exceder del 1%<sup>1</sup> de la coordenada considerada, aunque en la práctica varios analistas consideran tolerable hasta un 3%. De no cumplirse dicha condición existiría una sobrecarga adicional por efecto del momento estático inducido (*fig 2.1*), dicho momento estático se debe tomar en cuenta para el cálculo de de la *capacidad de carga y asentamiento en condiciones sísmicas*

*Capacidad de carga.*      El momento de volteo estático desarrolla un incremento de esfuerzos en el contacto cimiento-suelo en dirección de la excentricidad que genera un incremento de esfuerzos estáticos en una orilla ( $\Delta\omega_e$ ) de la cimentación como resultado de una excentricidad; y se evalúa con la siguiente expresión.

$$\Delta\omega_e = \frac{M_e}{I} x$$

$$M_e = W_E e$$

---

<sup>1</sup> Holguín, Ernesto, Diseño geotécnico de cimentaciones, Ed. TGC, México D.F., 1992, p 44

donde:	$M_e$	momento estático
	$I$	momento de inercia del cajón en la dirección donde existía la excentricidad de cargas.
	$x$	distancia del centroide del área de cimentación a la orilla considerada
	$W_E$	resultante de cargas permanentes de la estructura
	$e$	excentricidad de la resultante $W_E$ respecto al centroide del área de cimentación.

*Asentamientos en condiciones estáticas.* El incremento no uniforme de los esfuerzos en la masa de suelo tenderá a inclinar la estructura conforme ocurra el proceso de consolidación.

### a.3 Incremento de esfuerzos por sismo

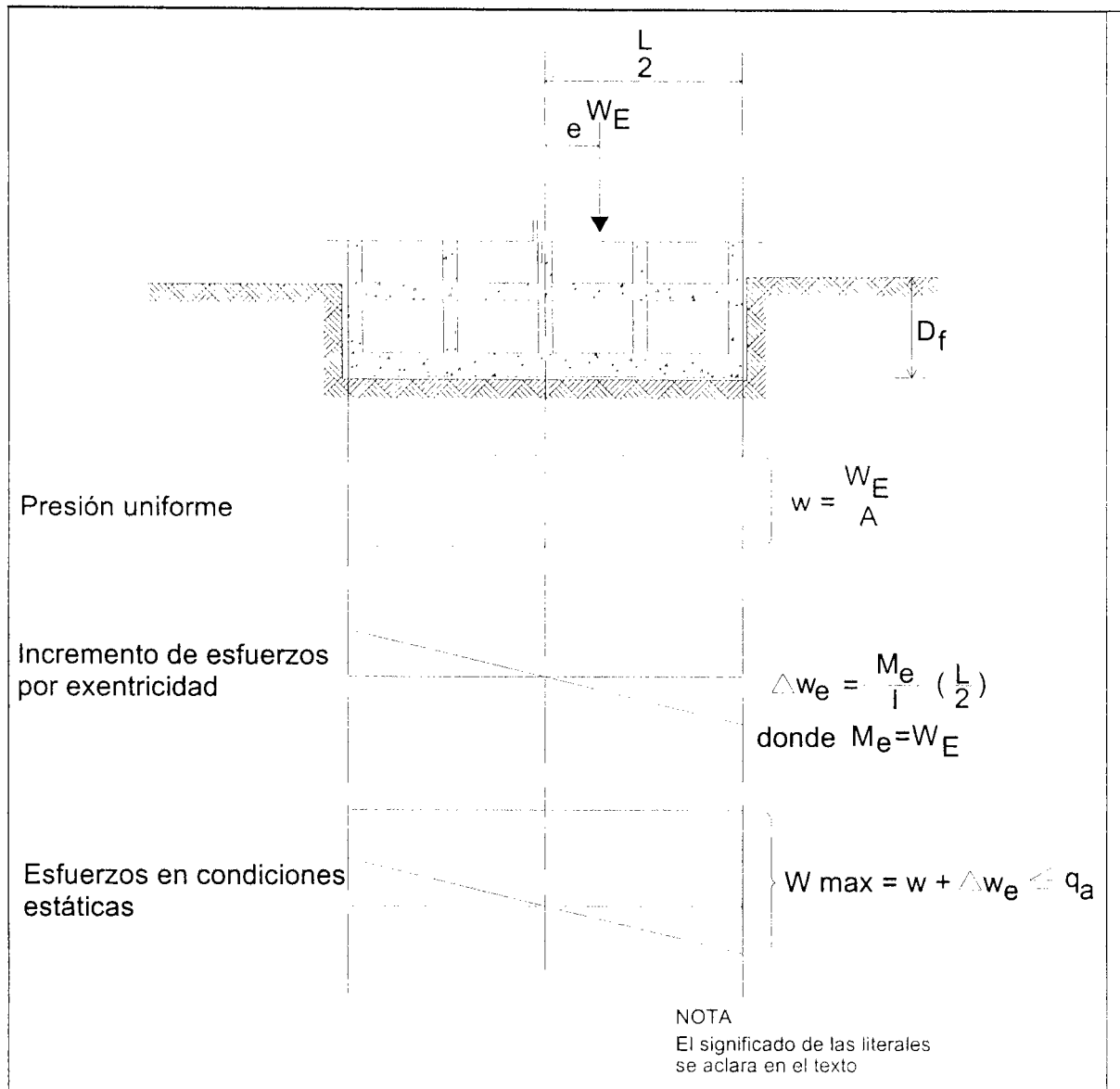
En presencia de un sismo, se genera un momento en la estructura conocido como Momento de Volteo Sísmico ( $M_{vs}$ ) Fig 2.2 que genera un incremento de esfuerzos adicionales durante la acción del sismo de diseño, que se determinará con la ecuación siguiente<sup>2</sup>:

$$M_{vs} = 0.8 \frac{c}{Q} W h$$

donde:	$M_v$	Momento de volteo
	$c$	Cohesión
	$Q$	Coefficiente de ductilidad
	$W$	Carga total
	$h$	Altura a la cual se aplica la fuerza horizontal, que se puede admitir a dos tercios de la altura total del edificio.

<sup>2</sup> Holguín, Ernesto, Diseño geotécnico de cimentaciones, Ed. TGC, México D.F., 1992,

Fig. 2.1 efectos de la excentricidad de cargas.



Los incrementos de la presión de contacto generados por este momento se calculan con la ecuación:

$$\Delta\sigma_s = + \frac{M_v}{I_x} y + 0.3 \frac{M_v}{I_y} x$$

donde:  $M_v$  Momento de volteo  
 $I_x, I_y$  momento de inercia de la cimentación respecto a los ejes  $x$  e  $y$

El esfuerzo total calculado para la esquina mas esforzada de la cimentación debe ser inferior a la capacidad de carga admisible del suelo de sustentación afectada por un factor contra sismo; la capacidad de carga admisible se determina con la siguiente ecuación:

$$q_c = C N_c + \delta D_f N_q + \frac{1}{2} \delta B N_\gamma + \sigma$$

donde:  $q_c$  Capacidad de carga última  
 $C$  Cohesión  
 $\gamma$  Peso volumétrico del suelo  
 $D_f$  Profundidad de desplante  
 $B$  Ancho del cimiento  
 $N_c, N_q, N_\gamma$  Factores de capacidad de carga  
 $\sigma$  Esfuerzo vertical de confinamiento.

#### a.4 Tratamiento inadecuado de expansiones.

En la Zona del Lago es común que la solución de cimentación para vivienda de interés social y medio (específicamente en edificios multifamiliares), sea el cajón de cimentación, es decir, la cimentación compensada, Para el diseño y construcción de este tipo de cimentaciones se deben tomar ciertas consideraciones para evitar la presencia de expansiones en el fondo de las

excavaciones en arcillas lacustres causadas por la descarga del suelo que se encuentra bajo el fondo. Aunque este fenómeno puede presentarse en todo tipo de suelos, su magnitud pasa inadvertida en los suelos no plásticos de estructura

compacta, propios de la zona de transición y lomas del Valle de México; en cambio en la zona de los depósitos lacustres de arcillas blandas, altamente deformables, adquieren gran magnitud que se advierte a simple vista en el comportamiento de las cimentaciones compensadas, en las que se observan inclinaciones causadas por la recuperación de las expansiones generadas durante el proceso de ejecución de la excavación y el colado del cajón de cimentación. De aquí deriva la necesidad de ejecutar las excavaciones siguiendo un procedimiento constructivo que reduzca la expansión del fondo a valores tolerables para la estructura y sus colindancias.

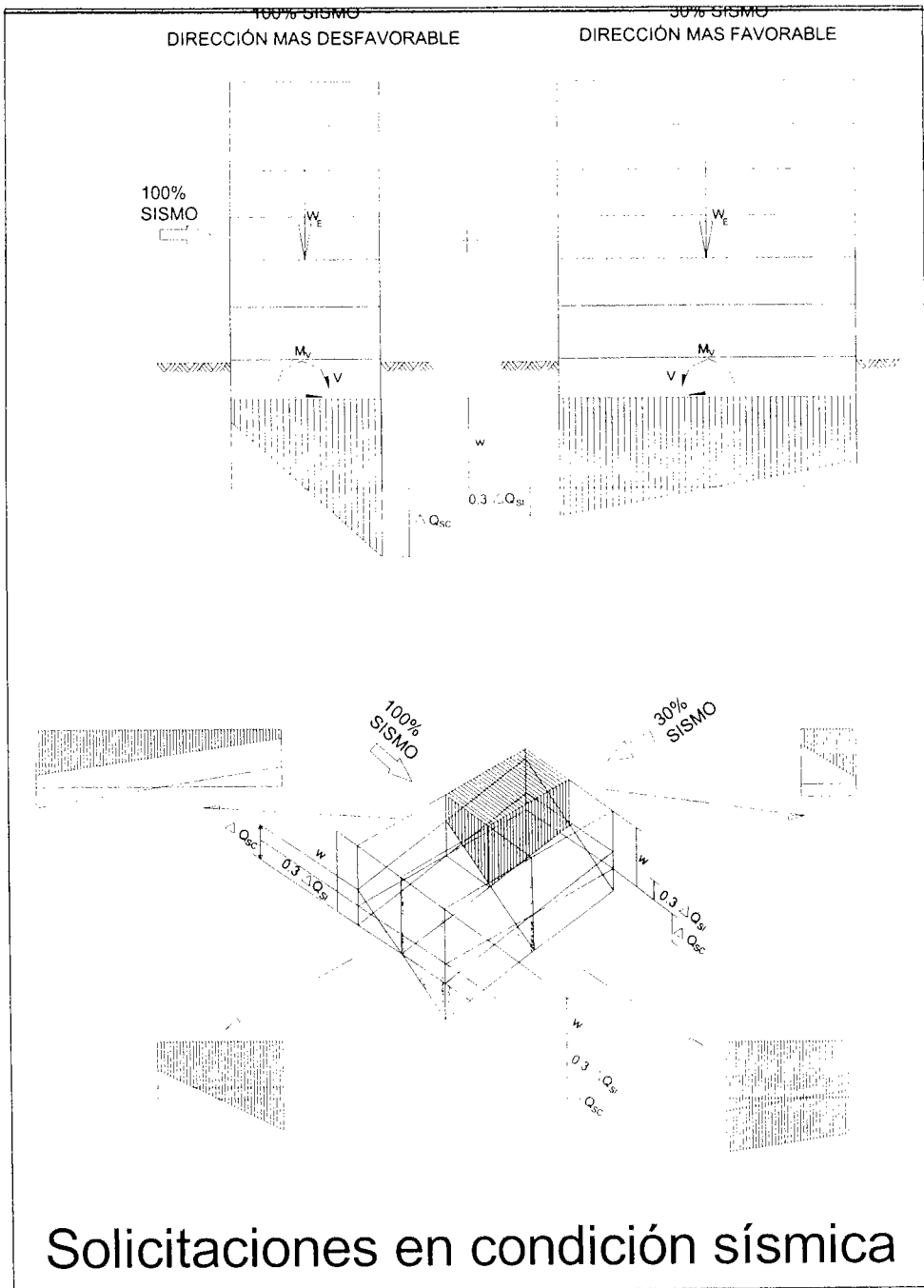
La extracción del material excavado elimina la presión vertical total que el material desalojado ejercía sobre el plano del fondo; esta descarga produce dos efectos en el suelo subyacente; que a su vez son los principales componentes de la expansión *Fig 2.4:*

- *La primera parte de la expansión ocurre simultáneamente con el decremento de la presión vertical total, sobre el plano del fondo, al retirar la tierra excavada; a esta componente se le llama expansión inmediata  $\rho_i$ . Durante esta etapa la masa de arcilla que subyace al fondo de la excavación sufre distorsiones despreciables en su volumen.*
- *Existe una segunda expansión llamada expansión lenta  $\rho_l$ , se desarrolla gradualmente a velocidad decreciente en el tiempo y va acompañada de aumento de volumen de la arcilla y de absorción de agua.<sup>3</sup>*

---

<sup>3</sup> Tamez Gonzalez, Enrique, *Ingeniería de cimentaciones*, Ed TGC, pp 494

Fig. 2.2 *Solicitud sismica*





Ambas componentes se suman para dar una expansión total:

$$\rho t = \rho i + \rho l$$

Tanto la expansión inmediata como la expansión lenta son generadas por deformaciones de la masa de suelo que se encuentra bajo el fondo. Tales deformaciones están asociadas a la alteración del estado natural de esfuerzos en la masa de suelo inducida por la descarga del suelo, es decir, por la eliminación del peso de la tierra excavada.

En este caso, el abatimiento del nivel freático puede ser utilizado para inhibir la presión de poro e incrementar la presión efectiva del suelo disminuyendo la expansión que se presentará por descarga durante la excavación, lo que puede resultar muy importante en sitios de zona del Lago del Valle de México<sup>4</sup>.

#### **a.5 Tratamiento inadecuado de colindancias**

El cuidado a estructuras vecinas y a servicios públicos durante trabajos de excavación para construcción de edificaciones es un tema muy mencionado en el reglamento de construcciones para el D.F. y en las NTC-CIM.

---

<sup>4</sup> Anzaldua, Roberto, *Manual de Construcción Geotécnica Vol 2, Cap 20 Abatimiento del Nivel freático para la construcción*, Sociedad mexicana de Mecánica de suelos, México, DF 2002, p 647.

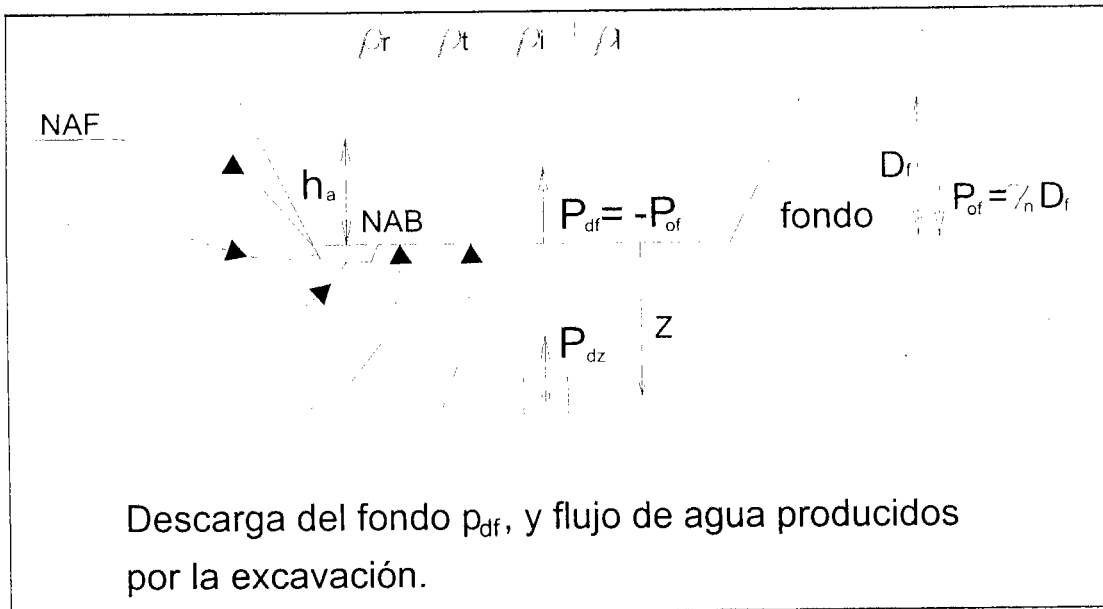


Fig. 2.4 Factores que contribuyen a la expansión en el Fondo de una excavación.

Es claro, que de presentarse en una estructura problemas relacionados con su cimentación (como las que se citan a continuación), estos pueden a su vez repercutir en la estabilidad y seguridad de las estructuras vecinas Fig. 2.5.

- Flotación
- Desplazamiento plástico del suelo bajo la estructura
- Falla estructural de los elementos de cimentación.
- Movimiento vertical (asentamiento o emersión, con respecto al nivel del terreno circundante)
- Inclinación.
- Deformación diferencial.

Por lo que el reglamento de construcciones para el DF insiste, en que el cuidado que debe guardarse a las colindancias se debe establecer desde la etapa de diseño de la cimentación, y en el estudio de mecánica de suelos se deben aclarar el procedimiento constructivo y las consideraciones pertinentes que garanticen la seguridad de la estructura a construirse y la de las estructuras colindantes, como se menciona en los artículos 230 y 231.

*Art. 230*

*Como parte del estudio de mecánica de suelos, se deberá fijar el procedimiento constructivo de las cimentaciones, excavaciones y muros de contención que asegure el cumplimiento de las hipótesis de diseño y garantice la seguridad durante y después de la edificación. Dicho procedimiento deberá ser tal que se eviten daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical u horizontal del suelo.*

*Cualquier cambio significativo que deba hacerse al procedimiento de construcción especificado en el estudio geotécnico se analizará con base en la información contenida en dicho estudio.*

*Art. 231*

*La memoria de diseño incluirá una justificación del tipo de cimentación proyectado y de los procedimientos de edificación especificados, así como una descripción explícita de los métodos de análisis usados y del comportamiento previsto para cada uno de los estados límite indicados (Tabla 1 , capítulo 1 del presente trabajo). Se anexarán los resultados de la exploración, sondeos, pruebas de laboratorio y otras determinaciones y análisis así como las magnitudes de las acciones consideradas en el diseño, la interacción considerada con las cimentaciones de los inmuebles colindantes y la distancia, en su caso de que se deje entre estas cimentaciones y la que se proyecta.*

Cuando para la ejecución de alguna obra se requiera de realizar excavaciones se tendrán presentes las disposiciones del artículo 228 del mismo reglamento.

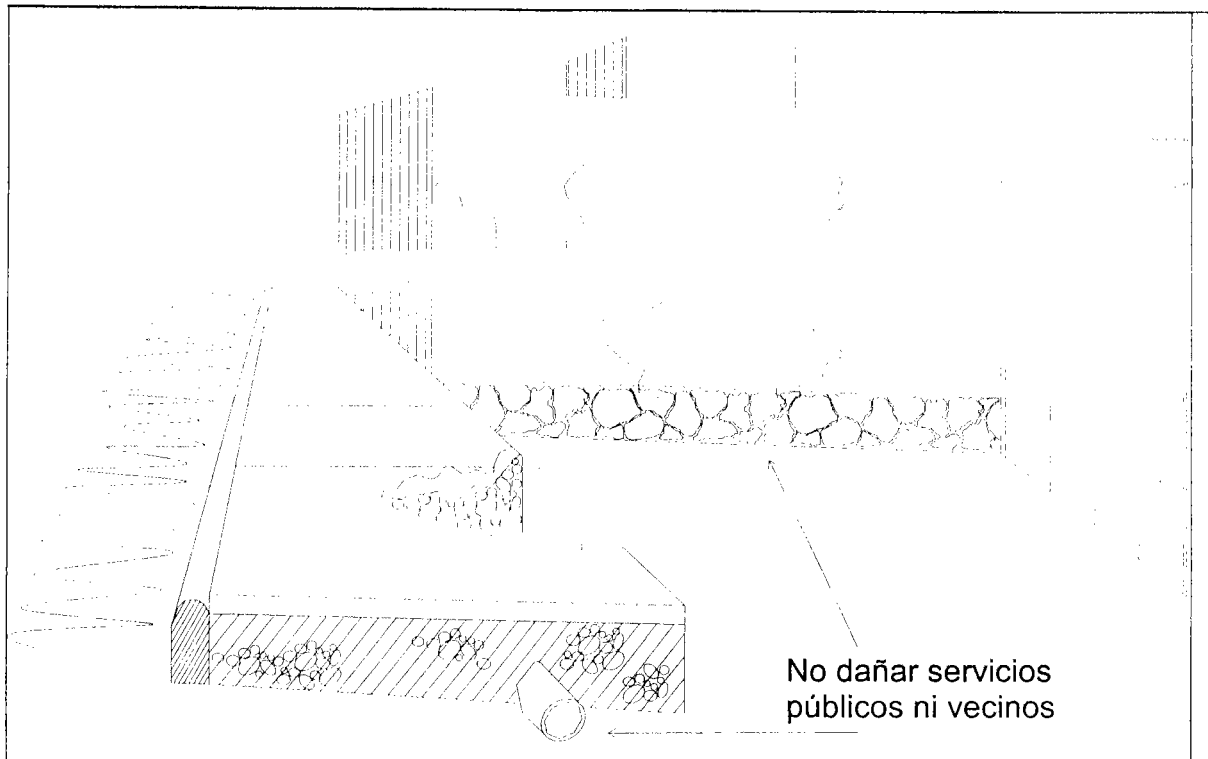
Art. 228 *En el diseño de las excavaciones se considerarán los siguientes estados límite:*

*I. De falla: colapso de los taludes o de las paredes de excavación o del sistema de soporte de las mismas, falla de cimientos de las edificaciones adyacentes y falla de fondo de la excavación por corte o por subpresión en estratos adyacentes.*

*II. De servicio: movimientos verticales horizontales e inmediatos y diferidos por descarga en el área de excavación y en los alrededores. Los valores esperados de tales movimientos deberán ser suficientemente reducidos para no causar daños a las edificaciones e instalaciones ni a los servicios públicos. Además la recuperación por recarga no deberá ocasionar movimientos totales o diferenciales intolerables para las estructuras que se desplanten en el sitio.*

Los análisis de la estabilidad se realizarán con base en las acciones aplicables señaladas en los artículos anteriores, considerándose además las sobrecargas que puedan actuar en la vía pública y zona próximas a la excavación; la interacción entre las diferentes partes de la cimentación y las cimentaciones vecinas.

Por lo regular, cuando se presentan hundimientos diferenciales asociados a problemas originados en estructuras colindantes, se debe al incumplimiento u omisión de una o varias de las disposiciones antes mencionadas.



*Fig.2.5 la realización de excavaciones deben de evitar en todo momento afectar a estructuras vecinas y servicios publicos.*

#### **a.6 Tratamiento a arcillas expansivas**

Por principio se aclara que en la zonificación geotécnica del Valle de México no se ha establecido en ninguna de sus zonas la presencia de arcillas expansivas; por consecuencia no se tiene documentado ningún caso de hundimiento diferencial ocasionado por las mismas; sin embargo se aborda el caso en el presente trabajo, debido a que las arcillas expansivas son una de las principales causas de hundimientos diferenciales en conjuntos habitacionales de diversas ciudades del altiplano y oriente de la República Mexicana, particularmente en ciudades como Querétaro, Morelia y Guadalajara.

Las arcillas expansivas son aquellas que son susceptibles de sufrir un aumento considerable de volumen durante la construcción o la operación de una estructura;

en el capítulo anterior se mencionó que una arcilla tiende a una expansión volumétrica al ser aliviada de una carga preactuante (como en el caso de una excavación), aunque por otra parte, existe un tipo de arcilla cuyo contenido mineral y químico tiene la propiedad de atraer y asimilar en su estructura el agua de las proximidades, al grado que es capaz de reducir sus esfuerzos efectivos e incrementar los esfuerzos de poro, o por así expresarlo, realizar un proceso antagónico a la consolidación, lo cual se refleja en un incremento de su propio volumen, siempre que exista la posibilidad de que el suelo “tome” agua y transcurra el tiempo necesario para que el fenómeno se desarrolle.

La expansibilidad depende del tipo de mineral de arcilla que la componga, y esa expansibilidad aumenta en el orden: caolinita, illita, montmorilonita. Los cationes de absorción juegan un papel muy importante en la expansibilidad; los de Litio y Sodio son los que producen una expansibilidad mayor, y los de Fierro una expansibilidad menor. Con base a parámetros como el índice de plasticidad y el límite de contracción los investigadores han establecido una tabla para en la práctica identificar las arcillas expansivas.

**Tabla 2.1 Datos para estimar el cambio volumétrico probable en materiales expansivos<sup>5</sup>**

Datos de pruebas de identificación			Expansión probable. Cambio volumétrico en % (seco a saturado)	Grado de expansión
Contenido coloidal (%<0.001 mm)	Índice de plasticidad	Límite de contracción		
>28	>35	<11	>30	Muy alto
20-31	25-41	7-12	20-30	Alto
13-23	15-28	10-16	10-20	Medio
>15	<18	>15	<10	Bajo

*Una situación frecuente en la práctica donde se tienen problemas vinculados con las arcillas expansivas es en los casos donde los estratos de arcilla han estado sujetos a largos periodos de evaporación y debido a ésta, el agua cerca de la*

<sup>5</sup> Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez, Alfonso, *Mecánica de suelos tomo 3, Flujo de agua en suelos*, ED Limusa, México D.F., p 404.

*superficie trabaja a tensión, induciéndose un flujo ascendente. Suponiendo que de no existir la evaporación el nivel freático coincidiera con la superficie del terreno, el efecto de la evaporación hace que en una cierta profundidad, la distribución de presiones no sea la hidrostática sino la correspondiente a un flujo ascendente y que la magnitud de los esfuerzos en el agua sea de tensión. Lo anterior hace que el punto de presión nula (nivel freático) se abata. Si la evaporación es de suficiente intensidad, la costra superficial puede llegar a estar solo parcialmente saturada (arcilla desecada)<sup>6</sup>.*

Si en las condiciones descritas anteriormente por el Ing. Juárez Badillo, se construye una edificación, el área que ocupara esta, suprimiría la evaporación a la arcilla, y con esto el flujo ascendente restituiría las presiones normales para el caso de no tener evaporación; es decir, las presiones neutras tenderían a la hidrostática, lo que causaría que las presiones efectivas disminuyeran con la consiguiente expansión bajo el área cargada (excepto en el caso de que el peso de la edificación compense la disminución de los esfuerzos efectivos, que no es el caso de las estructuras destinadas a vivienda de interés social). Esta expansión producirá levantamiento en la edificación, que serán mayores al centro del área cargada y menores en la periferia. Esta expansión ocurrirá aun en época de sequía, ya que es motivada sólo por la construcción de la edificación. Los cambios climáticos así como el aprovisionamiento superficial de agua ( riego, fuga de tuberías o de cisternas, etc) pueden dar lugar a expansiones y compresiones periódicas de la arcilla bajo cimientos poco profundos ( que es el tipo de cimentación mas común en vivienda unifamiliar). *Fig.2.6*

Existen métodos empleados exitosamente para reducir el efecto de la expansibilidad en estructuras ligeras, y se mencionan a continuación:

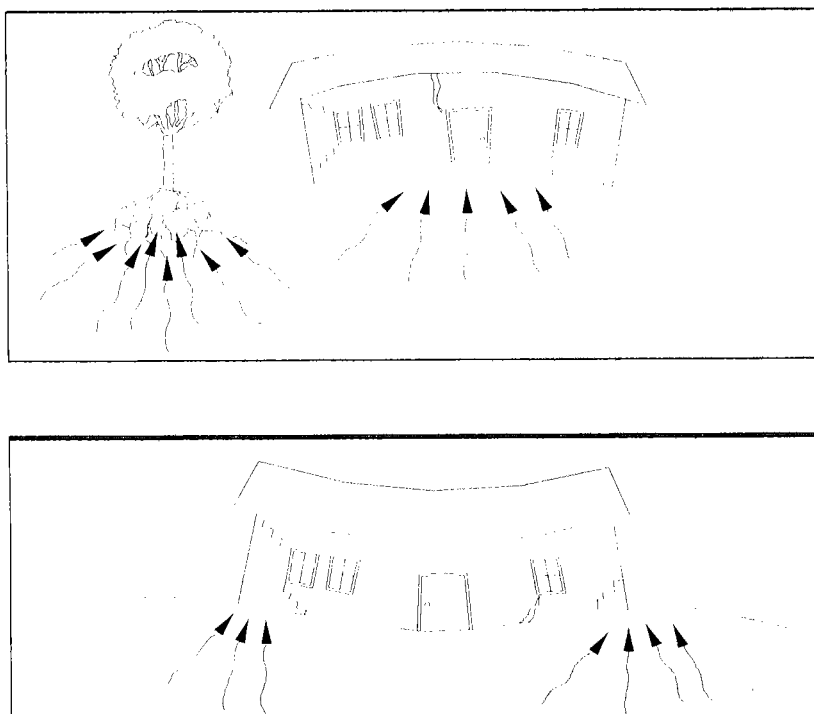
1. Sobreexcavar la sección por excavar y rellenar el espacio generado con material granular en una cantidad suficiente como para impedir la

---

<sup>6</sup> Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez , Alfonso, *Mecánica de suelos tomo 3, Flujo de agua en suelos*, ED Limusa, México D.F., p 404.

expansión por el peso del relleno, este método es más eficiente si el relleno se coloca después de que se haya generado la expansión.

2. Aislar o confinar el terreno de desplante con recubrimientos plásticos o asfálticos, aunque en realidad es difícil lograr un aislamiento totalmente confiable.
3. Remoldear el suelo hasta una cierta profundidad y volverlo a compactar con un contenido de agua mayor al anterior original, y con un peso volumétrico menor al original, el suelo resulta así, menos expansivo.



*Fig. 2.6 En el caso de las arcillas expansivas la deformación puede presentarse bajo dos circunstancias, por una parte, la desecación del suelo causada por la vegetación, generará hundimientos diferenciales excesivos en el área circundante, por otra parte, al construir una edificación sobre una arcilla expansiva saturada, la edificación obstruirá el proceso de evaporación, y al concentrarse la humedad en la superficie se generará una expansión, o bien si se construye sobre una arcilla expansiva relativamente seca, las zonas que sean expuestas a la humedad presentarán expansión.*



Adicionar cal o cemento en una proporción conveniente, para aglutinar al menos parcialmente el material y restarle expansividad.

4. Evitar desplante de la vivienda directamente sobre las arcillas expansivas, apoyadas en estratos subyacentes de de mejor comportamiento mediante pilas o zapatas aisladas y mediante trabes evitar además que los pisos de la vivienda se apoyen sobre las arcillas, dichos firmes deberán estar estructurados para funcionar como losas de entrepiso.

Cuando un inmueble es dañado por la deformación de una arcilla expansiva, particularmente si se trata de una vivienda de interés social (que se caracterizan por su poca rigidez y estructuración sencilla); es imposible renivelar mediante subexcavación o lastre; y sólo en el caso de que los daños en la superestructura y la estratigrafía del sitio lo permitan, se podrá recimentar, poniendo en práctica el punto número 5 mencionado anteriormente.

#### **b) Problemas asociados al hundimiento regional**

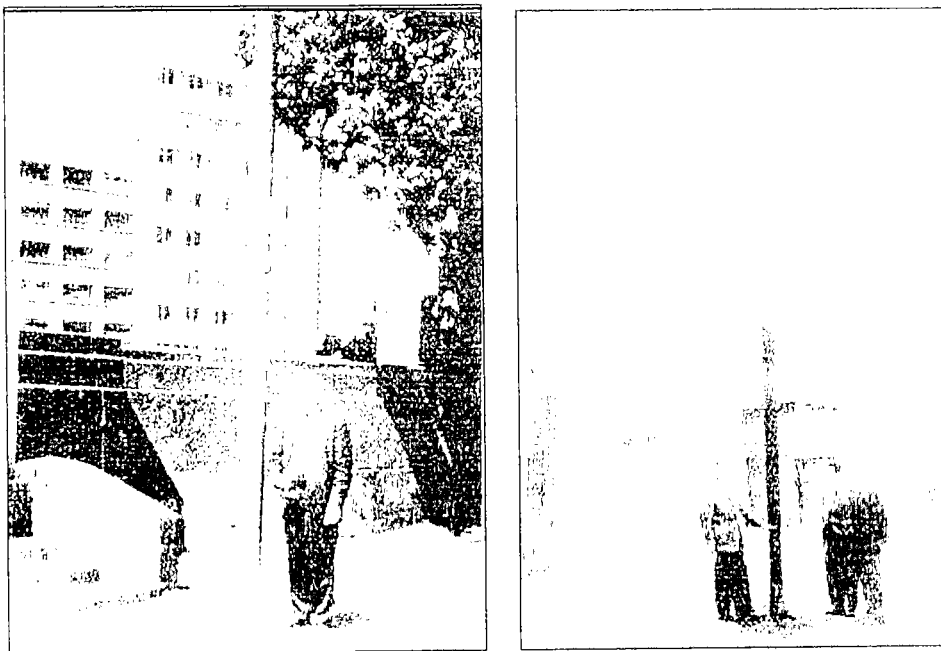
Existe el caso de un conjunto habitacional ubicado en el municipio de Ecatepec (entre 1987 y 1994), donde se edificaron viviendas de interés social en las cercanías de antiguos pozos de extracción de agua salada que estuvieron en operación durante los años 50's en ese periodo ocasionaron hundimientos regionales casi uniformes; y durante una campaña de exploración reciente, se pudo detectar que los hundimientos diferenciales mayores se registraron en las estructuras mas cercanas a los antiguos pozos y fueron ocasionados por la preconsolidación que se originó en la cercanía de los mismos por la acción de extracción de agua, en consecuencia estas zonas que fueron preconsolidadas, sufrieron menos deformación, en presencia de la carga, que aquellas más alejadas que no fueron preconsolidadas<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Estudio Geotécnico Estructural para la Unidad Hab. CTM XIV, en Ecatepec, Mex.; TGC Geotécnia SA de CV

El hundimiento regional, es por sí mismo, un problema para la ciudad de México, y es también el origen de muchos de los hundimientos diferenciales que se generan principalmente en las llamadas zonas “de Transición” y “de Lago”<sup>8</sup>. *Fig. 2.7*

La zona de transición a su vez se divide en tres sub-zonas: Transición alta, transición baja y abrupta, siendo esta última donde los suelos blandos entran en contacto con las formaciones volcánicas que los confinan, y es en ella donde las condiciones actuales propician hundimientos diferenciales.



*Fig. 2.7 La magnitud del hundimiento regional en la Ciudad de México se aprecia en estas fotos, en las que se muestra la emersión de la tubería de antiguos pozos de agua potable*

### **b.1 Condición abrupta en zona de transición**

Esta condición se identifica en el contacto entre los rellenos de la cuenca y los cerros que sobresalen de dicho relleno, a manera de islotes; en este caso, los depósitos fluviales al pie de los cerros son prácticamente nulos lo cual origina que

---

<sup>8</sup> Ver anexo 2; mapa de zonificación de la cuenca Valle de México

las arcillas lacustres estén en contacto con la roca *Fig. 2.8*, esta transición abrupta se presenta en el Peñón de los Baños, el Peñón del Marqués, el cerro de la Estrella y el cerro del Tepeyac; la estratigrafía típica de estas zonas está integrada por la serie arcillosa lacustre, interrumpida por numerosos lentes duros, de los materiales erosionados de los cerros vecinos.

Considerando uno de los muchos casos en los que una estructura sea desplantada sobre un suelo cuya estratigrafía sea similar a la ilustrada en la *Fig. 2.9*, es fácil pronosticar que al producirse la consolidación en la masa de suelo, la estructura presentará un hundimiento diferencial más pronunciado hacia el lado donde los espesores de arcilla sean mayores, sin embargo, si supusiéramos una condición en la que las condiciones de drenaje sean estables, entonces la deformación que generaría un inmueble relativamente ligero, como sería el caso de una vivienda de interés social, sería a muy largo plazo y de proporciones relativamente pequeñas, incapaces por si mismas de rebasar los parámetros de seguridad; sin embargo, en la realidad del Valle de México, la sobre-explotación de los acuíferos ha acelerado drásticamente los procesos de consolidación al grado de generar deformaciones que exceden por mucho a las pronosticadas en estudios geotécnicos realizados para unidades habitacionales (cuando no se toma en cuenta el hundimiento regional). Debido en parte a que es difícil reproducir en laboratorio las condiciones que se presentan las arcillas del Valle de México, que tras presentar un contenido de agua del orden del 400%, con la extracción de agua y el consiguiente abatimiento del esfuerzo de poro, el contenido de agua se reduzca al 40%.

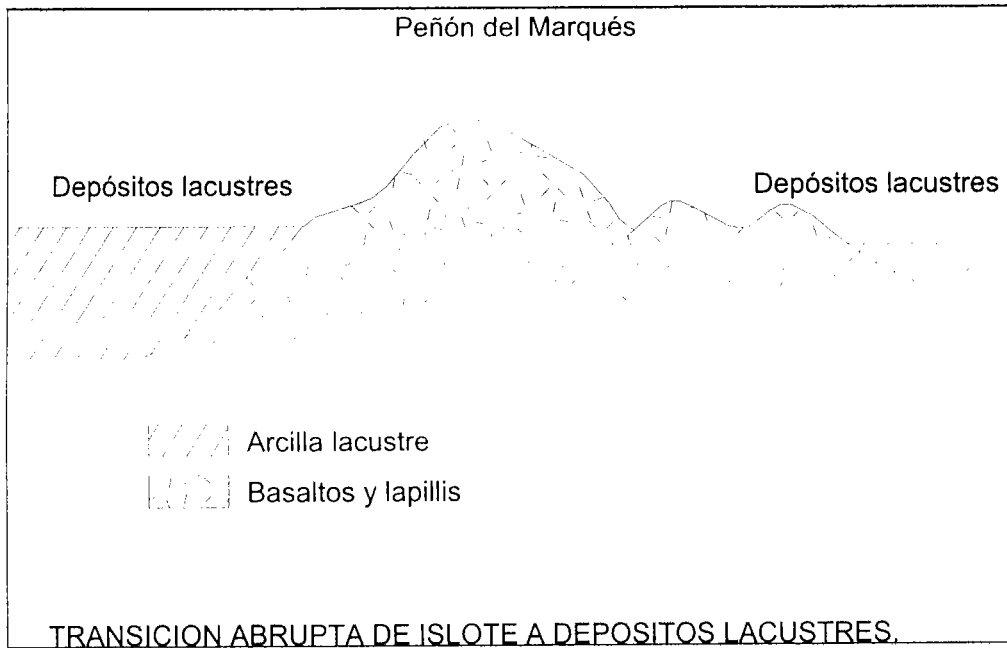


Fig. 2.78      *Condición abrupta en zona de transición*

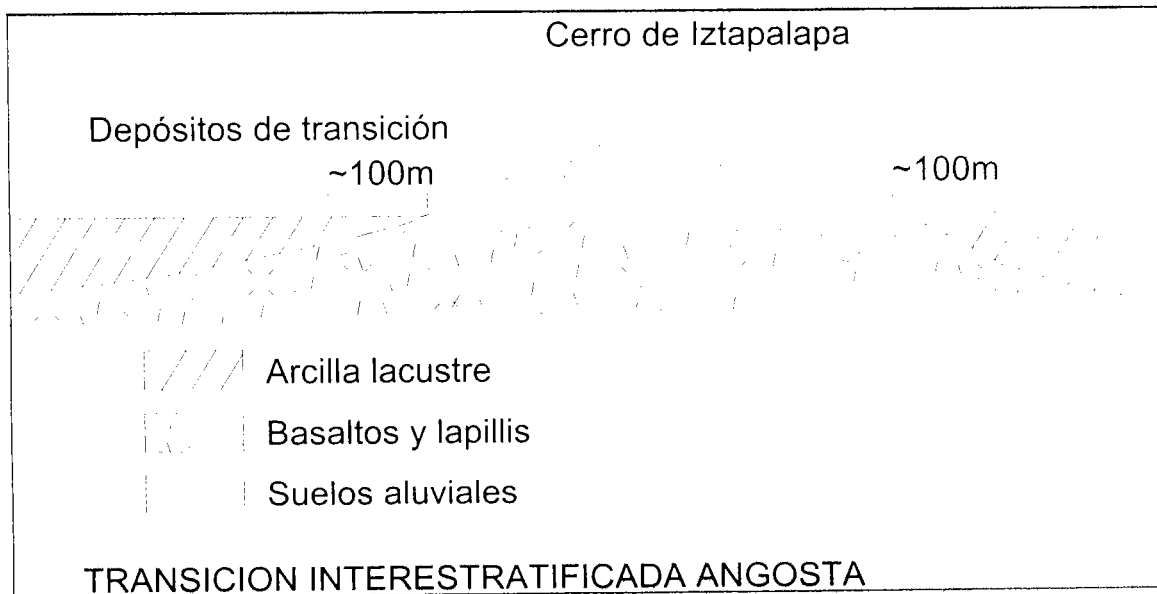


Fig. 2.9      *Condición interestratificada en zona de transición.*

## b.2 Deseccación causada por vegetación.

En estudios recientes de estructuras que han experimentado hundimientos diferenciales en la Zona del Lago, se ha concluido que sus deformaciones se deben a la desecación y consecuente consolidación de los estratos superficiales del subsuelo que han generado núcleos cercanos de árboles<sup>9</sup>.

Como se sabe, las cimentaciones superficiales en los suelos del Valle de México y área Metropolitana, están sujetas a hundimientos generados por la consolidación, originada principalmente por la extracción de agua (hundimiento regional). Recientemente se ha registrado una nueva causa de consolidación, que aunque no afecta grandes áreas, si provoca deformaciones mayúsculas de hasta 30cm en estructuras colindantes, y es ocasionada por la excesiva plantación de ciertos tipos de árboles, combinada con la falta de riego durante el estiaje.

De los árboles en cuestión, destacan tres:

- Acacia
- Casuarina
- Eucaliptus

Todos ellos de origen australiano, con la característica común de originar una marcada reducción en el contenido de agua de los suelos donde se cultivan; los tres se caracterizan además por su alta tolerancia a las sales; factores tomados en cuenta cuando se introdujeron a México, para completar la desecación del área que comprendía el lago de Texcoco<sup>10</sup>, donde por cierto, no siempre prevalece la denominada costra superficial, y la formación arcillosa superior, normalmente consolidada, inicia desde la superficie del terreno.

---

<sup>9</sup> Samano, A, *Geotécnia y su relación con el medio ambiente, XVII reunion nacional de mecánica de suelos (Xalapa Ver.)*, Asentamientos diferenciales de estructuras provocados por la desecación generada por la vegetación en el Valle de México., SMMS, México, 1994, pp 30.

<sup>10</sup> Greulach A. V. , *Introducción a la Botánica moderna*, México, 1970, Limusa

El agua realmente disponible para la vegetación es la cantidad máxima que puede ascender por capilaridad arriba del nivel freático, a la que en botánica se le llama "capacidad de almacenamiento", la cual es equivalente a un contenido de agua de hasta el 25% en arcillas orgánicas. A la suma del contenido de agua de la fracción higroscópica y del correspondiente a la capacidad de almacenamiento se le llama "capacidad del campo del suelo".

A medida que las raíces absorben agua, el contenido de agua del suelo adyacente se reduce hasta llegar al porcentaje de marchitez permanente, y es hasta ese momento que ocurre un nuevo movimiento capilar del agua existente en el suelo contiguo hacia el suelo desecado, siempre que el primero tenga un contenido de agua superior a su capacidad de campo. Cabe señalar que con la lluvia o un riego constante, el suelo recupera en menos de dos días esta capacidad.

Cuando los núcleos de árboles se encuentran cerca de estructuras ligeras, desplantadas a poca profundidad, son capaces de inducirles hundimientos diferenciales de hasta 30 cm.

En las fotografías se evidencia el mencionado efecto, donde se aprecia la formación de cuencas sobre el pavimento invariablemente en las cercanías con conjuntos de árboles, eucaliptos en este caso, aunque también es común que esto suceda con acacias y casuarinas, en esta misma zona (U.H. Prados Norte, Tultitlán, Mex.); a pocos kilómetros de donde fueron tomadas estas fotos, en el municipio de Ecatepec, Edo. Mex., se detectaron daños a inmuebles, instalaciones educativas específicamente, en donde el daño fue ocasionado por la misma causa que en las vialidades descritas en las fotografías que se muestran a continuación.



*Fig. 2.10 En las imágenes se puede apreciar la existencia de hundimientos locales asociados a la vegetación sobre las vialidades de una zona de fraccionamientos en Tultitlan México*



*Fig 2.11 En la presente fotografía, se aprecia una marcada inclinación en un edificio habitacional, ubicado en la Unidad Granjas (Tultitlan, Mex.) en donde nuevamente la inclinación se presenta en dirección hacia el conjunto de árboles, aunque en este caso no se puede establecer que el hundimiento haya sido ocasionado principalmente por el conjunto de árboles, es un hecho que la presencia de estos contribuyeron a empeorar el estado de la estructura.*

**c) Deficiencias durante el proceso constructivo**

**c.1 Incumplimiento de especificaciones.**

Como se aprecia en el título de este sub-inciso, se da por hecho que la etapa de análisis y diseño geotécnico se realizó adecuadamente, tomando en cuenta las consideraciones pertinentes; se hicieron recomendaciones del procedimiento constructivo de modo que se garantizara la seguridad y estabilidad de la edificación (desde el aspecto geotécnico) durante su etapa de construcción y en su vida útil, así mismo para las estructuras vecinas incluyendo a vialidades y servicios públicos.



Sin embargo, durante la ejecución de obra, puede ocurrir que debido a la celeridad y economía con que se requieren los trabajos, se omite el cumplimiento de ciertas recomendaciones claves para la estabilidad de las estructuras. Dado que no es el objetivo de este inciso renumerar todos los elementos que se consideraron durante el análisis, sólo se mencionarán las omisiones más comunes que ocurren en obra y sus consecuencias.

### **Problemas de excentricidad**

En el caso de vivienda, suele ocurrir, que el propietario de la misma decida por cuenta propia construir ampliaciones sin tomar en cuenta el proyecto de crecimiento propuesto por el promotor, generando así una excentricidad entre el centro de carga y el centro geométrico de la cimentación, propiciando, un incremento de esfuerzos en dirección del nuevo centro de cargas.

### **Tratamiento inadecuado de expansiones**

Este se presenta generalmente en la construcción de cajones de cimentación y se relaciona directamente con el principio de compensación de cargas, como se sabe, al retirar mediante excavación un cierto peso de suelo, se relajarán los esfuerzos en el fondo de la misma, generando una expansión que será más notable al centro del área excavada, para evitar y/o disminuir este efecto, se recomienda implementar mediante pozos, un sistema de bombeo, que operará permanentemente en tanto la estructura no haya adquirido el peso suficiente para compensar totalmente al material que se excavó, la función del bombeo es abatir el nivel freático (NAF) y con ello anular la presión de poro y consecuentemente incrementar los esfuerzos efectivos del suelo, con lo que se reduce notablemente la magnitud de las expansiones. Por otro lado al quedar abatido el NAF es posible trabajar dentro de la excavación en condiciones "secas"; aunque el abatimiento del NAF se debe realizar aun y cuando el nivel de la excavación se encuentra por encima de este.

En obra, puede ocurrir que tras una interpretación errónea del estudio de mecánica de suelos, se piense que la instalación del bombeo tiene como único fin achicar el agua para trabajar en un ambiente seco, por lo que al ubicar el nivel de desplante de la cimentación arriba del NAF, equivocadamente se considera innecesaria la implementación del sistema de bombeo. O bien, cuando el desplante se encuentra abajo del NAF solamente “achican” mediante cárcamos superficiales el agua que allí se concentre, bombeando apenas lo suficiente para que el agua les permita trabajar.

Como consecuencia se presenta la expansión al centro del área excavada, que igualmente, si no es atendida de inmediato se reflejará en inclinaciones de la estructura.

### **Tratamiento inadecuado a colindancias**

En muchos casos, cuando un inmueble se ve afectado por la influencia o el mal comportamiento de alguna estructura cercana, casi siempre existirán factores de orden geotécnico involucrado, y estos a su vez estarán relacionados con un desacato respecto al cuidado de preservar la integridad de las estructuras vecinas; entre las más comunes se pueden mencionar:

- Dejar una excavación abierta demasiado tiempo sin dar protección indicada para la estabilidad de los taludes.
- Independientemente de que se presente falla alguna dentro del predio en cuestión, se debe mantener bajo monitoreo periódico el comportamiento topográfico no sólo de la propia estructura, sino también de las estructuras vecinas en general, el no hacerlo puede ocasionar que no se tenga oportunidad de adoptar alguna medida preventiva o correctiva oportunamente.

- Construcción deficiente de rellenos.-Es común especialmente en edificación de vivienda, la construcción de plataformas y rellenos con material compactado, sin embargo cuando estos no se realizan del modo adecuado es común que se presenten mayores hundimientos en las zonas donde la conformación del relleno se realizó de manera inadecuada.

En general si se presenta una falla en una estructura existente hay la posibilidad de que esto afecte a las estructuras más cercanas.

## **c.2 Saturación del material de desplante**

La capacidad de carga del suelo en parte es función del contenido de agua del mismo, es decir que a mayor contenido de agua la capacidad de carga disminuye, sobre todo en materiales poco consolidados, el diseño de las cimentaciones se realiza considerando el contenido natural de agua del suelo para que este no represente daño significativo, sin embargo, cuando en algunas zonas de la masa de suelo se incrementa el contenido de agua superior a la natural estas zonas sufrirán mayores deformaciones al momento de aplicárseles alguna carga, esta situación se presenta fácilmente cuando existen fugas de agua de las instalaciones subterráneas de agua potable, drenaje, cisternas, etc; o bien en presencia de lluvias intensas cuando el nivel del terreno no esta bien conformado.

En la figura 2.11, se ilustra mediante una gráfica comparativa entre el número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT<sup>11</sup>) y la medición del contenido de humedad de cada muestra obtenida a la profundidad correspondiente; en ella se puede apreciar como el número de golpes (N)<sup>12</sup> se incrementa notablemente siempre que el contenido de agua disminuye y ocurre lo contrario cuando el porcentaje de agua ( $w$ ) se reduce.

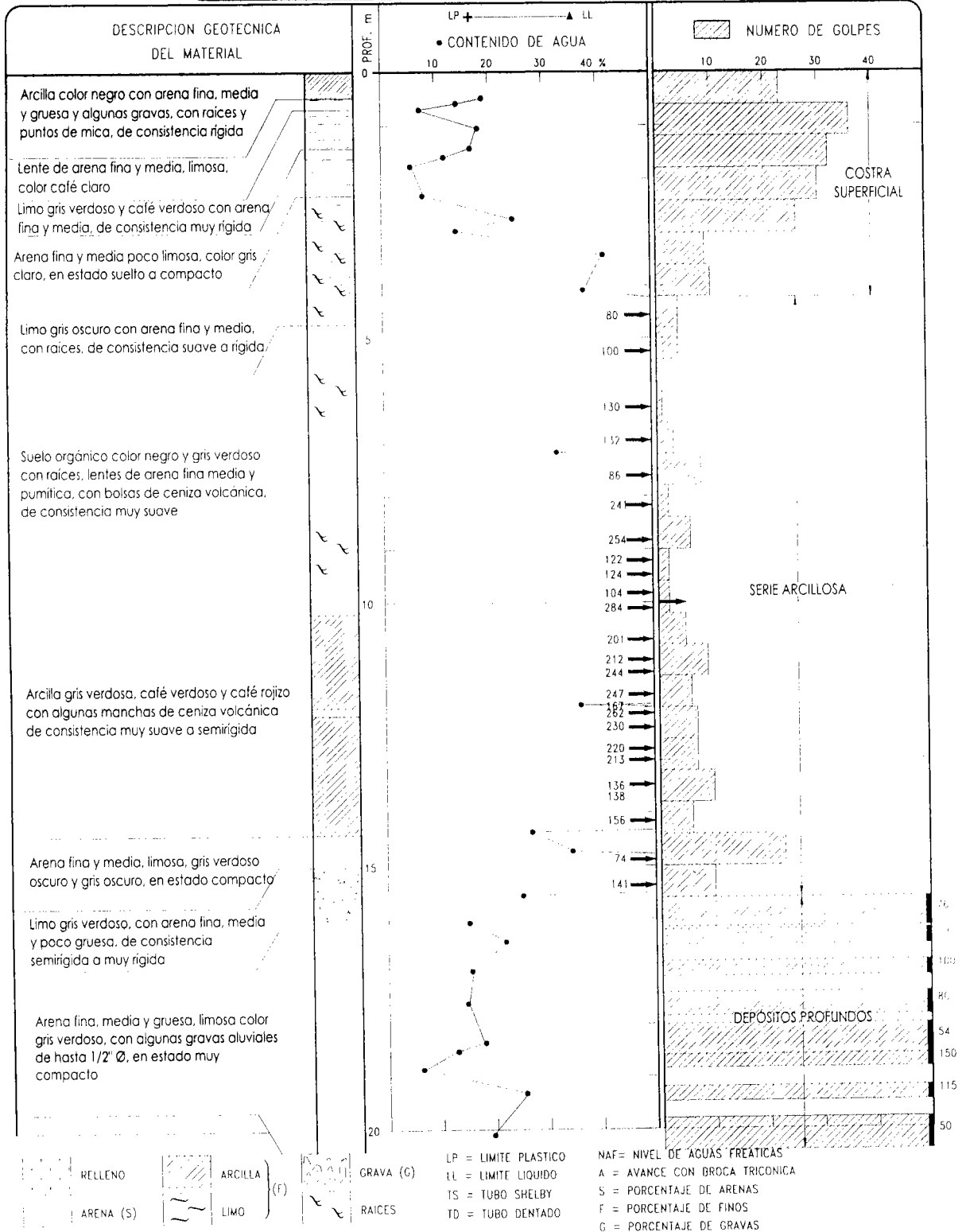
---

<sup>11</sup> SPT: De las siglas en inglés Standard Penetration Test.

<sup>12</sup> Considerando que el número de golpes de la prueba de penetración es un parámetro básico para evaluar la capacidad de carga de un suelo, la cual es directamente proporcional al número de golpes.

# SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR

PROYECTO LOCALIZACION	Insurgentes esq Filadelfia	SONDEO PROF. EXPLORADA	SPT-1 20.4 m	PROF. NAT 4.32 m
--------------------------	----------------------------	---------------------------	-----------------	---------------------



## CONCLUSIONES CAPITULO II

La ocurrencia del fenómeno de hundimiento diferencial, puede ser propiciada por diferentes causas, muchas de ellas previsibles, aun así, el asunto se complica cuando los valores de hundimiento e inclinación rebasan los rangos establecidos de seguridad.

En teoría, desde la etapa de diseño geotécnico, podrían hacerse las consideraciones pertinentes para evitar la presencia de hundimientos diferenciales inadmisibles, sin embargo, ocurre que al no tenerse presentes todos los factores, se producen deformaciones que pudieron ser previstas con antelación.

Durante el proceso constructivo, puede ocurrir que no se guarde la observación debida al cumplimiento de las especificaciones y/o la calidad de los trabajos, que garanticen la estabilidad de las estructuras, o bien, que no se notifiquen oportunamente los eventos o deformaciones no deseables durante el transcurso normal de la obra, ya sea en la misma edificación, o en estructuras vecinas de cualquier tipo.

En otras circunstancias, una deformación diferencial excesiva puede presentarse por la ocurrencia de algún evento, cuya magnitud escape a todo pronóstico, como puede ser un sismo de gran magnitud, inundación extraordinaria, el uso inadecuado del inmueble, el comportamiento deficiente de alguna estructura vecina, etc.

Sin embargo, ocurre con frecuencia que un hundimiento diferencial obedezca a la interacción o combinación de diversas causas.

## ANEXO II.1

### Análisis de distribución de esfuerzos bajo un área cargada

En el capítulo I, se mencionaba una particularidad que generaba hundimientos diferenciales en unidades habitacionales con cierta recurrencia.

Una forma simple de percibir la potencialidad de un asentamiento diferencial en una cimentación rectangular flexible consiste en calcular los asentamientos producidos en el centro del área, las esquinas y los puntos centrales de los lados del rectángulo.

El asentamiento en el punto medio de una orilla,  $\rho_o$ , varía con la longitud  $L$  y el ancho  $B$  del rectángulo, y con el espesor de un estrato compresible  $Z$ . La relación  $\rho_o / \rho_c$  varía entre 0.5 y 0.78, dependiendo de las relaciones  $L/B$  y  $Z/B$ .

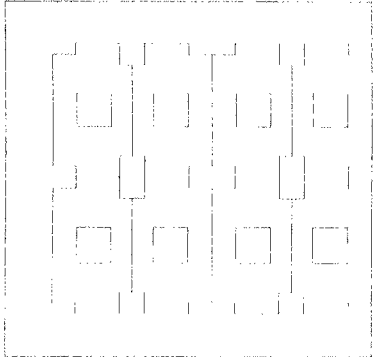
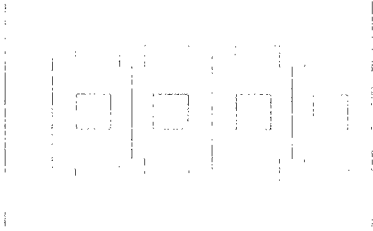
Con base en las relaciones de asentamientos expresadas en los párrafos anteriores se pueden establecer dos reglas prácticas y simples:

- *El asentamiento diferencial entre una esquina y el centro de una cimentación rectangular flexible, uniformemente cargada, es la mitad del asentamiento máximo al centro del área.*
- *El asentamiento diferencial entre el punto medio de una orilla del rectángulo y el centro, varía entre 0.5 y 0.22 del asentamiento máximo al centro del área con un promedio máximo de 0.33.<sup>13</sup>*

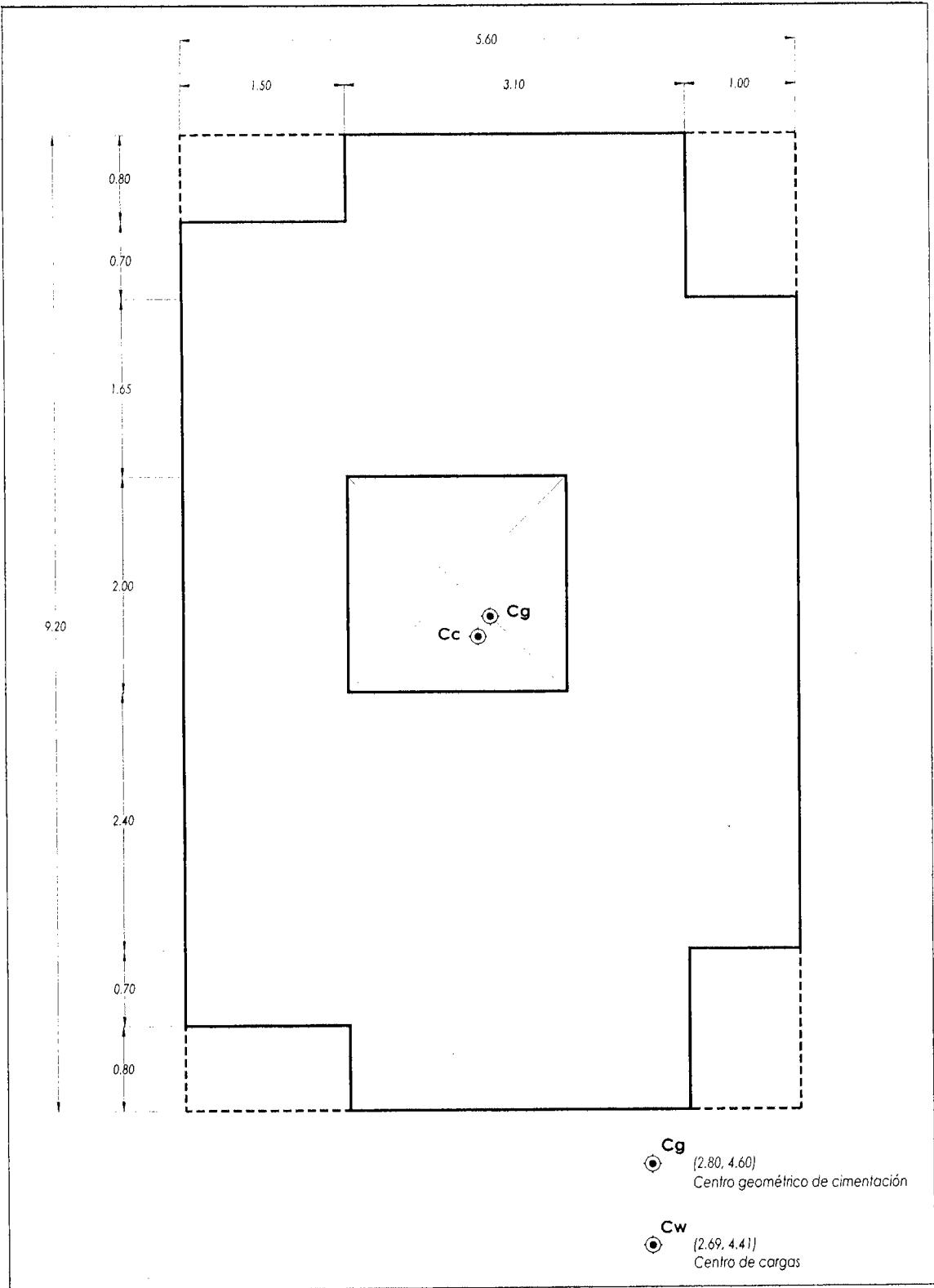
Para ilustrar las reglas anteriores a continuación se presenta un ejemplo numérico, cuya geometría fue tomada de una estructura ubicada en Ecatepec, Mex. En la figura se muestran dos arreglos típicos para la distribución en planta de un conjunto de edificios multifamiliares.

---

<sup>13</sup> Tamez Gonzalez Enrique, Ingeniería de Cimentaciones, Ed. TGC, México D.F., 2001, Pag. 271.



Analizando en forma individual las propiedades geométricas del edificio tipo; se determina la ubicación del centro de gravedad, considerando su asimetría geométrica, la cual es función del diseño arquitectónico; se obtiene también el centro geométrico de la cimentación la cual es rectangular y abarca incluso las esquinas fuera del espacio arquitectónico, así como el cubo central de luz.





Una vez que se tienen las coordenadas de los centros de gravedad y geométricos, se determina excentricidad existente entre ambos:

$$e_x = 0.11$$

$$e_y = 0.19$$

$$e_x\% = 0.11 / 2.8 = 3.0 \%$$

$$e_y\% = 0.19 / 4.6 = 4.0 \%$$

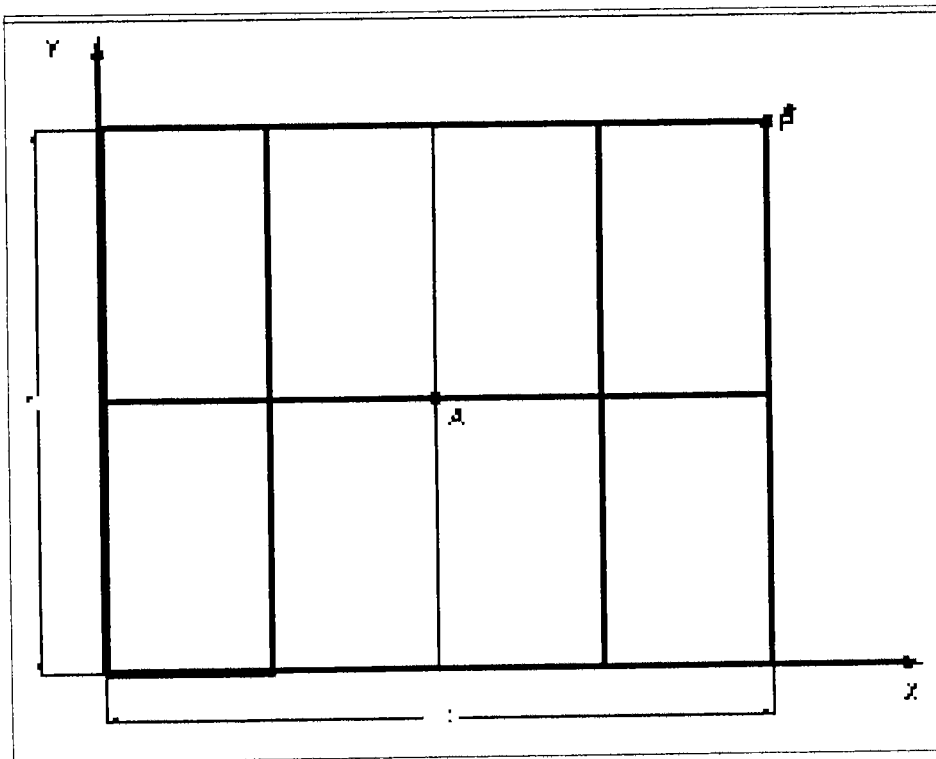
El porcentaje de excentricidad obtenida, se encuentra al límite, pero aún es tolerable, considerando que esta pudo ser compensada por ejemplo con la ubicación de la cisterna, es decir que en este caso, la excentricidad pudo no ser la causa contundente de que el edificio presentara hundimiento diferencial.

Por otra parte, si mediante la fórmula de Bousinesq, por ejemplo, se revisarán los valores de esfuerzo bajo la cimentación al centro y la esquina del edificio, se aprecia el cumplimiento de la regla antes establecida en el aspecto de que los esfuerzos al centro de la cimentación son de una magnitud tal que prácticamente cuadruplica la determinada en las esquinas; aún así, este hecho no representa menoscabo alguno para la seguridad del edificio, ya que la losa de cimentación está diseñada de tal modo que su rigidez no permita flambeo alguno por la superioridad de los esfuerzos concentrados al centro del área cargada.

	Z	X	Y	m	n	$\omega_0$	$\sigma = \omega_x \omega_0$
A	1.50	2.80	4.60	1.86	3.06	0.24	1.88
B	1.50	5.60	9.20	3.73	6.13	0.25	0.49

Una vez que se ha realizado la revisión en forma individual de un edificio, y suponiendo que las propiedades físicas y químicas del suelo son homogéneas y continuas, además posee un comportamiento mecánico aceptable; se podría decir que el edificio tipo no es propenso a presentar hundimientos diferenciales.

Sin embargo, si el edificio tipo se agrupa en conjunto, sin que exista liga estructural alguna y se le analiza la distribución de esfuerzos bajo el área cargada del conjunto mediante Bousinesq, se obtienen valores de esfuerzos, muy similares a los que se obtuvieron para un solo edificio, incluso inferiores, ya que al distribuirse la carga en un área mas amplia, los esfuerzos son menores, sin embargo, la concentración de estos continua siendo mayor en el centro respecto a la esquina, solo que en este caso, la cimentación no cuenta con la rigidez suficiente para evitar el flambeo, debido a que se encuentre fragmentada.



	Z	X	Y	m	n	$\omega_0$	$\sigma = \omega_x \omega_0$
A	1.5	11.2	9.2	7.46	6.13	0.24	1.6
B	1.5	22.4	18.4	14.9	12.26	0.25	0.5

Un modo simple de contra restar esta situación habría sido construir una sola losa de cimentación para todo el conjunto, con una rigidez suficiente para evitar deformaciones excesivas al centro de la misma, de hecho, esa indicación fue dada con anticipación en el estudio de mecánica de suelos, aunque evidentemente, dicha indicación fue omitida al momento de realizar la construcción. Como

consecuencia de lo anterior, se obtuvo que en todos los conjuntos de edificios se presentaron hundimientos diferenciales excesivos e inclinaciones orientadas hacia el centro de cada conjunto.

## FUENTES DE CONSULTA, CAPITULO 2

1. Anzaldua, Roberto, *Manual de Construcción Geotécnica Vol 2, Cap 20 Abatimiento del Nivel freático para la construcción*, Sociedad mexicana de Mecánica de suelos, México, DF 2002, p 647.
2. Greulach A. V. , *Introducción a la Botánica moderna*, México, 1970, Limusa
3. Holguin, Ernesto, *Diseño geotécnico de cimentaciones*, Ed. TGC, México D.F., 1992
4. Juárez Badillo, Eulalio, Rico Rodríguez , Alfonso, *Mecánica de suelos tomo 3, Flujo de agua en suelos*, ED Limusa, México D.F., p 404.
5. Sámano, A, *Geotecnia y su relación con e l medio ambiente, XVII reunión nacional de mecánica de suelos (Xalapa Ver.), Asentamientos diferenciales de estructuras provocados por la desecación generada por la vegetación en el Valle de México.*, SMMS, México, 1994, pp 30.
6. Tamez González, Enrique, *Ingeniería de cimentaciones*, Ed TGC, pp 494
7. *Estudio Geotécnico Estructural para la Unidad Hab. CTM XIV, en Ecatepec, Mex.*; TGC Geotecnia SA de CV

## **CAPÍTULO III.**

### **Técnicas de renivelación más utilizadas en unidades habitacionales del Valle de México y área metropolitana.**

Objetivo: Analizar y comparar las técnicas más comunes de renivelación en función de las características de cada estructura y del origen del hundimiento diferencial, en unidades habitacionales del Valle de México.

3.1 Lastre

3.2 Subexcavación

3.3 Recimentación

3.4 Casos ilustrativos

#### **CONCLUSIONES**

Anexo III.1 Pilotes de control mecánico.

Anexo III.2 Unidades habitacionales desahuciadas como consecuencia de hundimientos diferenciales.

Anexo III.3 Fabricación de lodo fraguante para restitución de suelo en trabajos de subexcavación.

Para la nivelación en estructuras de unidades habitacionales, existen básicamente 3 procedimientos de uso común<sup>1</sup>:

- Lastre
- Subexcavación
- Recimentación

Aunque también puede existir el caso de que el hundimiento diferencial haya dañado la estructura a tal grado, que resulte incosteable su nivelación.

### 3.1 Lastre

La nivelación de una estructura mediante lastre, es el recurso mas simple, ya que para ello puede utilizarse cualquier material inerte (arena, tepetate, grava, muertos de concreto, mamposterías y agua en contenedores, etc).

Este recurso se emplea generalmente cuando el hundimiento diferencial fue generado al existir excentricidad entre el centro de cargas de la estructura y el centro geométrico de la cimentación; lo que ocasiona que la distribución de esfuerzos en la masa de suelo no sea uniforme.

*Peso y volumen del lastre.* Para colocar un lastre capaz de inducir la corrección de verticalidad de una estructura es necesario ubicar los centros de carga del inmueble y del lastre, así como definir el peso que deba tener este último; para que al generar un momento estático, la cimentación experimente un giro correctivo, con lo que se logrará una deformación en la masa de suelo en el sentido requerido. Con esto, se podrá elegir el material cuyo peso volumétrico proporcione la carga suficiente para transmitir los esfuerzos de corrección.

---

<sup>1</sup> Tamez G. E *La catedral y el Sagrario de la Ciudad de México, corrección del comportamiento de sus cimentaciones*, Sedesol TGC, 1995

*Ubicación del lastre.* Definida la ubicación y magnitud del lastre, se recomienda aprovechar las condiciones existentes de la cimentación, por ejemplo, si la estructura está apoyada en un cajón de cimentación, este puede ser utilizado para la colocación del lastre; siempre que el vacío de dicho cajón no tenga alguna utilidad. *Fig. 3.1*



*Fig 3.1 Colocación de lastre a base de material producto de excavación, encostado y colocado en estibas dentro de las celdas de un cajón de cimentación.*

### **Desventajas**

*Espacio.* La ubicación y dimensiones del lastre, estará condicionado por los espacios disponibles, sobre todo si la cimentación está resuelta mediante losa, habría entonces necesidad de desocupar al menos parcialmente la planta baja de la estructura.

Existe la posibilidad de que no se cuente con espacio disponible para ubicar el lastre dentro del inmueble, alojarlo por fuera, junto a la estructura en cuestión, sin embargo en dicha circunstancia, disminuye su efectividad drásticamente.

*Tiempo de Recuperación.* Otro motivo por el que este método no es muy utilizado, es el tiempo de corrección. Aunque la colocación del lastre puede ser relativamente rápida, el tiempo que debe transcurrir para completar la corrección, puede prolongarse indefinidamente, ya que estará además en función de la deformabilidad y consolidación del suelo; así como de la magnitud de la corrección requerida. Además, dependiendo de cada caso, será necesario que el lastre permanezca en su sitio por tiempo indefinido.

### **Ventajas**

**Costo.** Los insumos necesarios para la ejecución de este método son relativamente simples, consistiendo básicamente el material para lastre (cuyo volumen estará en función de la magnitud de la corrección, de las características de estructura y suelo) y la mano de obra para su colocación, no se requieren herramienta o equipos especiales.

### **3.2 Subexcavación**

Esta técnica se basa en la extracción controlada del suelo bajo el desplante de la cimentación de una estructura para hacer descender las partes más elevadas.

*Fig. 3.2.*



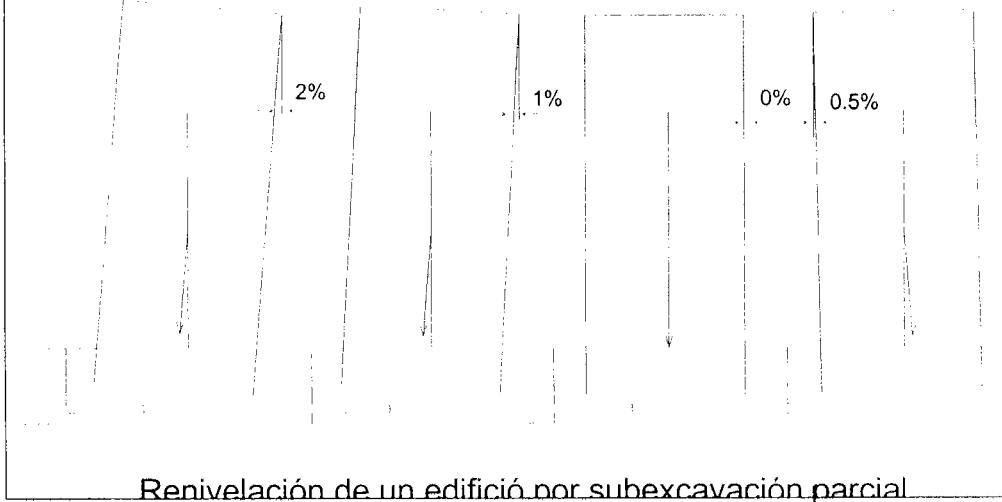
# Etapas en la posición de un edificio

a) INICIAL

b) INTERMEDIA

c) VERTICAL

d) FINAL



Renivelación de un edificio por subexcavación parcial

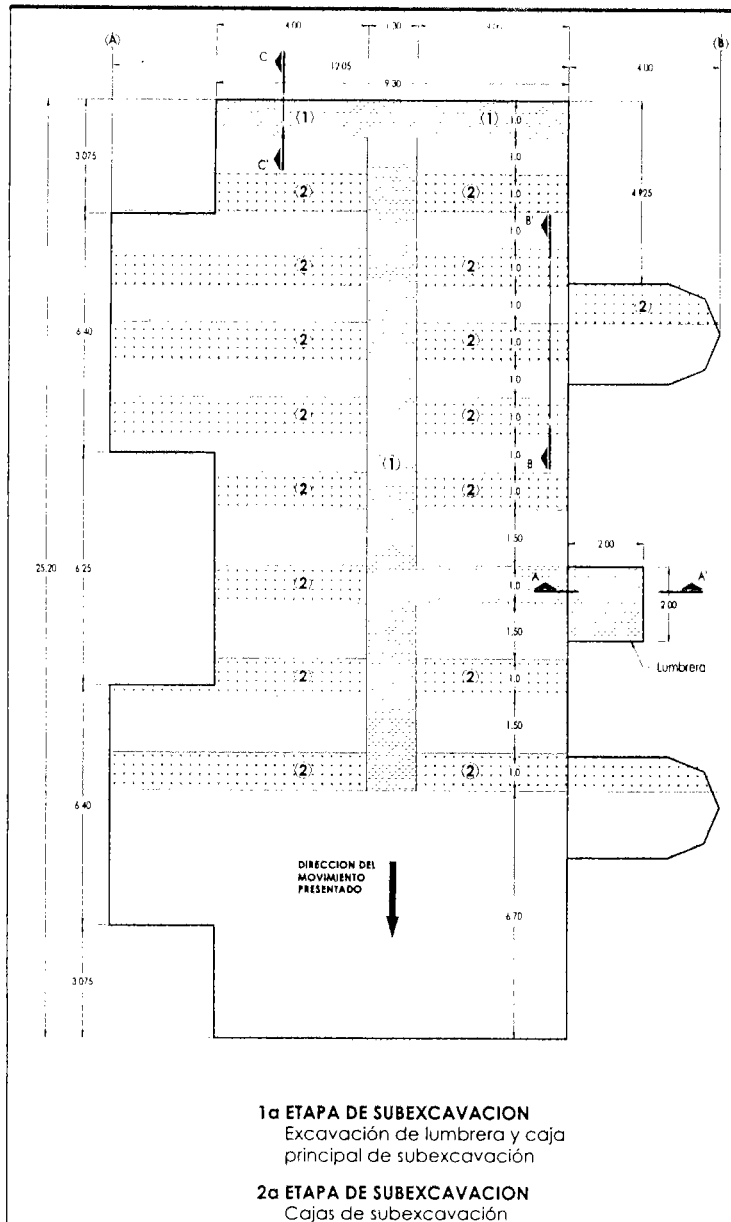


Fig. 3.3 Plano de subexcavación.

Requiere de espacios mínimos para la ejecución de los trabajos, tanto para la excavación de lumbreras y/o zanjas de acceso, como para el almacenamiento temporal del material extraído.

*Procedimiento constructivo.* El procedimiento general de una subexcavación consiste en excavar zanjas o lumbreras para acceder al suelo bajo la cimentación, extraer la masa de suelo necesaria para modificar artificialmente el centro

geométrico de la cimentación y generar una excentricidad con respecto al centro de cargas. Esto incrementa la magnitud de los esfuerzos en las secciones de suelo que permanecen en contacto con la cimentación, y consecuentemente, se deformará hasta que se recupera la verticalidad del inmueble. Finalmente se restituye el suelo subexcavado con un material que se asemeje en propiedades de deformabilidad, resistencia y peso volumétrico al material extraído ( por lo general se utiliza un lodo fraguante elaborado a base de agua : bentonita : cemento. Para finalmente restituir el material excavado para la construcción de los accesos.<sup>2</sup>

### **Desventajas**

*Espacio.* Mientras duren los trabajos se debe contar con un área para almacenar el material subexcavado para su posterior reutilización y/o retiro de la obra (según sea el caso).

*Tiempo de ejecución.* Aunque no es posible definir un periodo exacto para la corrección. Se sabe por experiencia, que para estructuras de interés social, los tiempos de ejecución pueden oscilar entre 5 y 8 meses considerando la restitución del suelo subexcavado una vez alcanzada la meta preestablecida. El comportamiento de la estructura es importante para definir las metas de corrección ya que el proceso puede interrumpirse o alargarse de acuerdo al comportamiento de la misma. Si por alguna razón vinculada a la estructura no es factible corregir completamente la verticalidad de un inmueble es conveniente entonces que la corrección alcanzada al menos ubique a la estructura dentro de los rangos admisibles que estipulan las NTC-CIM<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Arenas Flores Santiago Fernando, Tesis profesional : *Subexcavación, una alternativa para la renivelación de edificios de interés social*, Ingeniería Civil, UNAM, ENEP Acatlán, 2004

<sup>3</sup> Arenas Flores, S.F., Cuevas R. A., *Estudio geotécnico para determinar las causas de los asentamientos diferenciales de algunas casas de un conjunto habitacional, localizado en el municipio de Coacalco, Edo Méx.* Asesores en Cimentaciones, SA de CV, Enero de de 2001

## **Ventajas**

La ubicación de las trincheras o lumbreras pueden ser ubicadas en espacios relativamente pequeños, ya que los trabajos de subexcavación se realizan por debajo de la cimentación del inmueble.

Es posible realizar los trabajos con el inmueble ocupado, observando medidas de seguridad más estrictas que cuando el inmueble está desocupado.

*Costo.* En comparación el costo beneficio de una nivelación con éste método puede ser de 40 a 60% de lo que representaría una nivelación, mediante, recimentación por medio de pilotes de control.

De acuerdo a experiencias personales y documentación sobre el tema, se puede decir que este método ha sido el más utilizado para estructuras de conjuntos habitacionales de interés social e interés medio que carecen de sistemas constructivos especializados e instrumentos financieros importantes

## **3.3 Recimentación**

En este subcapítulo se explican a detalle dos técnicas de recimentación: a) *Micropilotes*, es la solución mas frecuente para la restauración de estructuras de mampostería y por las posibilidades que tiene no solo para recimentar, sino también para nuevas cimentaciones; b) Pilotes de control, es el método de recimentación y nivelación mas conocido y utilizado, especialmente para estructuras pesadas.

A continuación se resumen de las técnicas de recimentación, mencionando sus ventajas e identificando sus limitaciones.

## **CUÁNDO RECIMENTAR.**

Arthur Casagrande, afirmaba: "*recimentar es hacer, tarde y a mayor costo, lo que debió hacerse antes de construir*"; refiriéndose a que esta técnica se emplea cuando el hundimiento diferencial es generado en casos en que las cimentaciones tienen comportamiento deficiente en presencia de sismos y de hundimiento regional, lo anterior puede ocurrir como insuficiencia en la información sobre las características del subsuelo del sitio y a los cambios que el hombre le induce<sup>4</sup>.

La recimentación de una estructura no siempre es con el propósito de renivelarla, sino en ocasiones solamente reforzar la seguridad de la misma, o bien, frenar el proceso de inclinación antes de que este alcance niveles de inseguridad.

## **CUÁNDO RENIVELAR**

Cuando una estructura sufre un desplomo que afecta su estabilidad, surge la necesidad de renivelarla, para volverla a la verticalidad o al menos disminuir su inclinación. Esta acción correctiva puede ser complementaria de la recimentación pero también se puede concebir como una acción independiente. Conviene aclarar que renivelar casi siempre consiste en hacer descender la parte que ha quedado alta en una estructura.

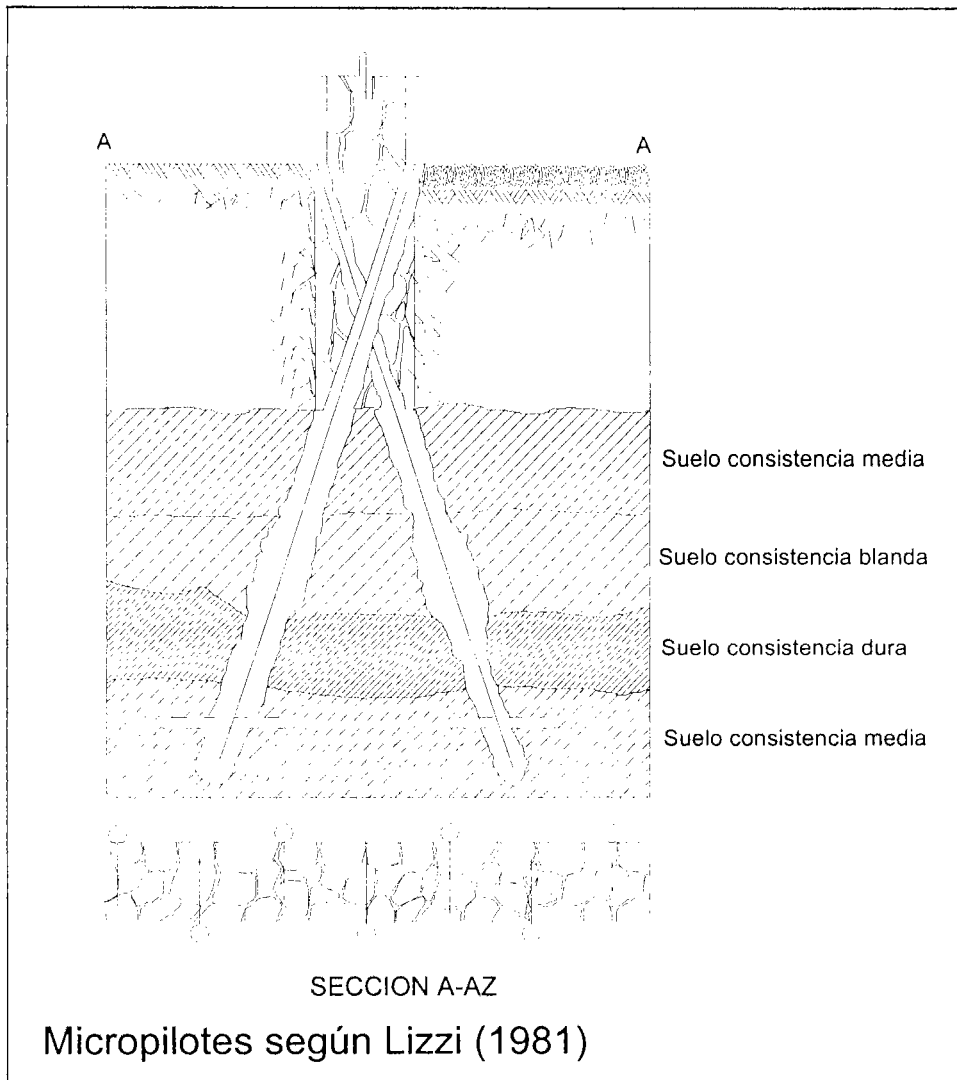
## **MICROPILOTES MODERNOS.**

La ventaja fundamental de los micropilotes en trabajos de cimentación radica en que son un complemento a la cimentación existente y puede afirmarse por su proceso tecnológico que son esencialmente pilotes de fricción, aunque en el número adecuado y contando con un estrato resistente de apoyo, desarrollan capacidad por punta. A corto plazo los micropilotes no trabajan, toda la carga es soportada por la cimentación existente; conforme la estructura se va asentando,

---

<sup>4</sup> García Ramos, Luis, *Recimnetaciones, Presentación*, SMMS, México DF, 1990.

solicita el trabajo del micropilote y a largo plazo puede llegar a tomar toda la carga (Fig. 3.4).



*Fig. 3.4 Aunque generalmente los pilotes son utilizados en posición vertical, por su versatilidad, sus aplicaciones pueden ser variadas.*

### **MICROPILOTES APLICADOS EN MÉXICO**

La utilización de micropilotes para recimentaciones se ha desarrollado principalmente en Europa, con aplicaciones fundamentales en restauración de monumentos históricos y edificaciones antiguas (generalmente de mampostería),

en México la modalidad más empleada en vivienda, por su simpleza y efectividad, ha sido la técnica desarrollada en Alemania.

### **TÉCNICA ALEMANA.**

Se utiliza como refuerzo una barra sólida de alta resistencia. El procedimiento consiste en empezar por una perforación estabilizada con ademe metálico, después se introduce la barra de acero con los coples de cuerda izquierda y centradores. Adherida a la barra lleva una doble manguera para la posterior inyección (Fig.3.5).<sup>5</sup>

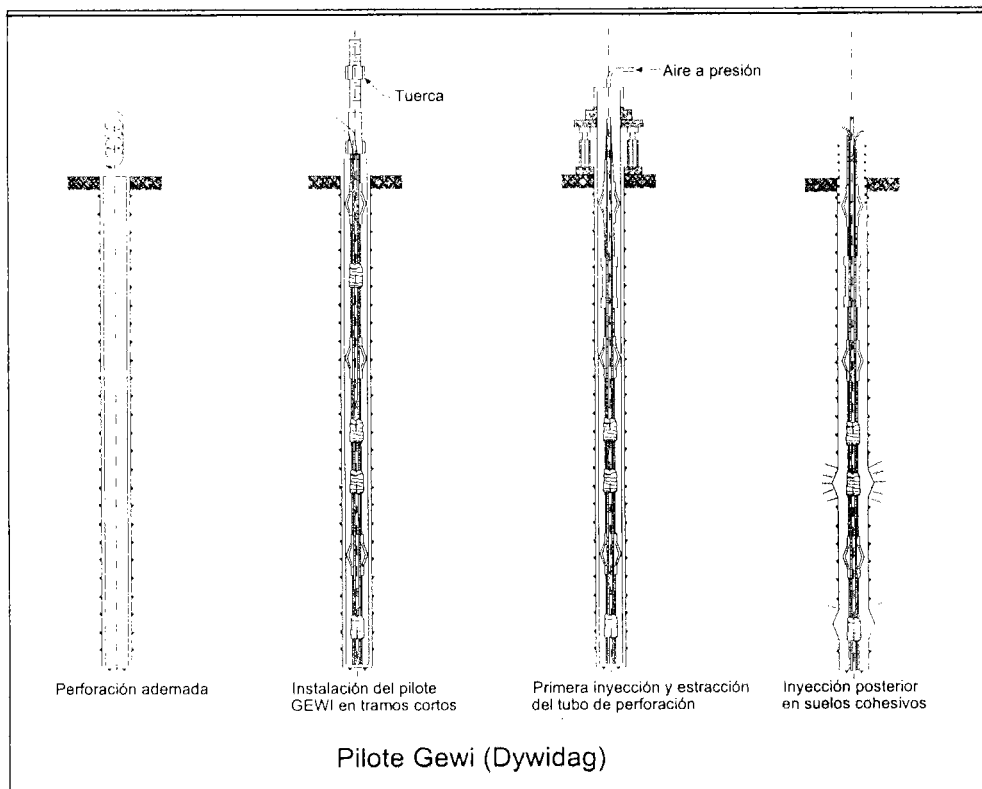


Fig. 3.5 Procedimiento de instalación de un micropilote mediante la técnica alemana

<sup>5</sup> Segovia Pacheco, J A., *Manual de Cimentaciones profundas*, S.M.M.S., Fundación ICA, México DF. 2001, pp. 247

El llenado de la barra se hace desde la superficie; una de las mangueras funciona como salida del aire entrampado. Una vez endurecida la vaina se procede al inyectado por la manguera con válvulas de inyección, Estos pilotes son muy semejantes a las anclas de gran capacidad, usadas en rocas; en cambio trabajando como pilotes y sobre todo instalados sobre arcilla blanda, se aprovecha la capacidad del acero de alta resistencia.

### RECIMENTACIÓN CON PILOTES TRADICIONALES

En la figura (Fig. 3.6) se ilustra el pilote de control que conceptualmente siempre debe estar apoyado en una capa dura de asentamiento nulo o muy pequeño; el control de deformación (tipo PICOSA, Pilotes de Control S.A.) lo proporciona un conjunto de cubos o celdas de madera de caobilla.

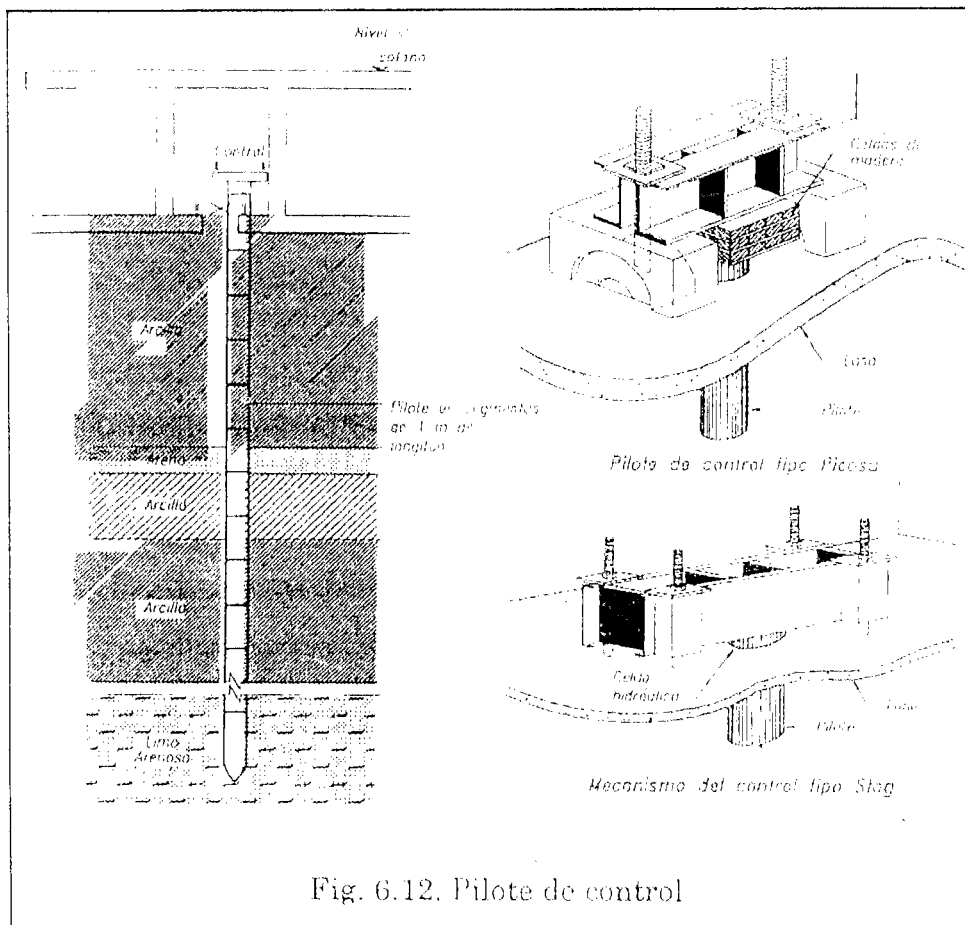


Fig. 6.12. Pilote de control

Fig. 3.6 Instalación y funcionamiento de un pilote de control



## ***LIMITACIONES DE LOS PILOTES DE CONTROL***

La limitante mas importante del concepto del pilote de control se tiene en su comportamiento mismo, ya que fue precisamente concebido para seguir las deformaciones de la superficie del suelo; hace esto gracias a la deformabilidad de las celdas de madera, complementada con los necesarios ajustes del mantenimiento, en los que se retiran los cubos de madera deformados; cuando se hace este cambio, el pilote de descarga y en ese momento se hace indispensable contar con la rigidez de la estructura para distribuir la carga a otros pilotes. A largo plazo los pilotes de control siempre permitirán que los edificios descendan con el hundimiento regional y se presentarán dos casos:

- a) Si la estructura es rígida, el hundimiento controlado podrá ser casi uniforme y con daños estructurales mínimos o nulos.
- b) Si la estructura es deformable, el hundimiento no se podrá controlar y terminará por causar los asentamientos diferenciales inherentes al suelo por su natural erraticidad.

El criterio de instalación de estos pilotes fue por muchos años equivocado, porque se les hincaba a presión y al alcanzar 100 t se les consideraba confiables, independientemente si quedaban o no apoyados en estratos resistentes. Durante los sismos de 1985 esto quedo demostrado, se observaron abundantes casos de pilotes que se hundieron bruscamente, por incrementos de carga, junto a otros que lo resistieron.

Otra incertidumbre de estos pilotes fue la instalarlos segmentados en los que la continuidad estructural se confiaba a varillas empalmadas dentro de un hueco cilíndrico, otros constructores colocaron cables y los postensaron una vez instalados, todas estas concepciones son simples, pero expuestas a errores de ejecución.

En cuanto a los puentes de reacción, existe la imposibilidad de transmitir cargas de tensión al pilote, por lo que en edificios altos han presentado signos de inestabilidad al volteo<sup>6</sup>.

En cuanto al mantenimiento, se presenta la dificultad de la falta de uniformidad en la deformabilidad de la madera, así como a la corrosión en las partes de acero; el primer aspecto es el más complejo, por ello se recomienda sustituir la madera por neopreno de dureza controlada. En cuanto a la corrosión las pinturas epóxicas y el engrasado frecuente son la única solución.<sup>7</sup>

### **RECIMENTACIÓN Y RENIVELACIÓN CON LA UTILIZACIÓN DE GATOS HIDRÁULICOS.**

Hasta ahora, todas las modalidades de recimentación y renivelación descritas se basan en el principio de hacer descender las partes que quedaron mas altas como consecuencia del hundimiento diferencial, sin embargo también puede presentarse el caso de que la renivelación se consiga haciendo ascender las partes que hayan quedado mas bajas después del hundimiento, esto puede lograrse mediante la operación de gatos hidráulicos de gran capacidad, apoyados con sistemas de control similares a los que se utilizan en los pilotes de control, sólo que en este caso funcionarían a la inversa, es decir, en lugar de permitir deformaciones hacia abajo, los incrementos de presión que proporcionaría el gato hidráulico generaría un ascenso gradual en la estructura.

**En qué caso utilizar,** se utilizaría para situaciones en las que el hundimiento haya sido ocasionado por alguna deficiencia en el material de desplante de la

---

<sup>6</sup> Los pilotes de control son un invento creado y desarrollado en México y aunque en la aplicación práctica se sabe de varias deficiencias que estos han presentado, continúan siendo hoy en día una de las herramientas mas viables para recimentar y renivelar grandes estructuras, Aunque para la naturaleza del presente trabajo, la aplicación de los pilotes de control es muy limitada, se considera prudente mencionar en el ANEXO III.1 los esfuerzos que recientemente se han realizado para reducir sus limitaciones.

<sup>7</sup> Segovia Pacheco, J A., *Manual de Cimentaciones profundas*, S.M.M.S., Fundación ICA, México DF. 2001, pp. 255

estructura, por ejemplo, algún mejoramiento mal realizado o una compactación deficiente.

**Ventaja:** La renivelación puede lograrse en un periodo de tiempo (que puede establecerse con anterioridad en forma confiable) sensiblemente breve en comparación con los demás métodos descritos, ya que no depende directamente del tiempo de reacción del suelo; Es posible manipular con precisión casi milimétrica la recuperación de la horizontalidad del cimiento en cualquiera de los puntos de interés.

Aunque este método fue creado originalmente para utilizarse en pilotes, se han realizado variantes utilizando zapatas a poca profundidad (cuando la estratigrafía así lo permite), en estructuras ligeras.

**Desventajas:** Tiene el costo y complejidad más elevado de todas las opciones mencionadas anteriormente, al grado de que su utilización en vivienda de interés social es muy limitado. Su efectividad depende de la rigidez y buen estado de la superestructura; por la naturaleza de los trabajos es necesario que tanto la mano de obra como equipos especializados.

### **3.4 CASOS ILUSTRATIVOS**

#### **Caso 01**

*Ubicación:* Coapa, México DF.

*Zonificación geotécnica:* Lago Centro I

*Edificio multifamiliar de seis niveles.*

*Estructuración:* mediante marcos de concreto y muros de carga.

*Tipo de cimentación:* compensada (cajón de cimentación) a 4.0 m de profundidad

*Ubicación Nivel de Aguas Freáticas (NAF):* -2.00 (respecto al nivel de banqueta).

*Situación:* Presenta hundimiento diferencial de aproximadamente 30 cm. hacia la colindancia oriente; desplazamiento vertical de 12 cm. respecto a su altura total.

*Causa del daño:* Deficiencia durante procedimiento constructivo; aparentemente se realizó la excavación para el cajón de cimentación en una sola etapa, no guardando precaución en el control de expansiones del fondo de la misma y al relajar los esfuerzos mediante el retiro súbito del material y no implementar ningún procedimiento atenuante para expansiones, éstas provocaron la inclinación de la estructura durante la etapa de construcción de la misma, aunque, cabe mencionar que en un principio el diferencial se encontraba dentro de rangos admisibles; por lo que se continuó con la construcción hasta su término; sin embargo con el paso del tiempo la distribución excéntrica de cargas generó un momento de volteo en el sentido de la inclinación, lo que favoreció para que el hundimiento diferencial evolucionará a rangos inadmisibles. Por otra parte, esto comenzó a afectar a las construcciones del predio vecino, donde se ubicaba un fraccionamiento horizontal, y este a su vez, presentó inclinación hacia la colindancia antes mencionada<sup>8</sup>.

**Solución**, en el caso del edificio multifamiliar, la única acción que se ha tomado para la corrección del desnivel hacia el centro, ha sido, mediante la utilización de lastre, aprovechando el cajón de cimentación, se inundaron con agua algunas celdas en el sentido opuesto de la inclinación, sin que a la fecha se hayan obtenido avances significativos.

Por otra parte, en cuanto al condominio horizontal del predio vecino, se consiguió la renivelación casi total de las estructuras afectadas, mediante la utilización de la técnica de subexcavación; aunque cabe mencionar que estas presentan el riesgo de volver a inclinarse, en tanto no sea corregida la inclinación de los edificios vecinos.

## **Caso 02**

*Ubicación:* Iztapalapa, México DF.

*Zonificación Geotécnica:* Lago virgen (secado solar)

*Edificio multifamiliar de cinco niveles.*

*Estructuración:* mediante muros de carga y losas de vigueta preesforzada.

*Tipo de cimentación:* compensada (cajón de cimentación) a 2.0 m de profundidad

*Ubicación Nivel de Aguas Freáticas (NAF):* -2.5 m.

*Situación:* Presenta hundimiento diferencial de aproximadamente 30 cm. hacia la colindancia oriente; inclinación visible del orden de 50 cm. respecto a su altura total.

*Causa del daño:* En fecha posterior a la construcción del edificio, en la colindancia sur-oriente se construyó una bodega cuya nave alberga un frigorífico y un centro de distribución, el cual aporta al suelo una concentración de cargas muy alta que ha manifestado deformaciones y un asentamiento que no ha sido diferencial sino uniforme, la influencia del mencionado asentamiento uniforme de esta estructura, generó al multifamiliar un hundimiento diferencial de aproximadamente 30 cm, en dirección hacia el frigorífico, aun a pesar de que las características mecánicas del material de desplante ( limo arenoso de consistencia muy rígida) eran bastante aceptables<sup>9</sup>.

**Solución.** En este predio, se optó por la utilización del método de subexcavación, considerando que para recuperar la verticalidad de un edificio se cuenta básicamente con dos opciones: hacer levantar las partes más bajas, o hacer descender las zonas altas, siendo mucho más económica la segunda opción. Se decidió entonces implementar el procedimiento de subexcavación, lográndose una corrección del 80 y 70% para cada uno de los edificios, cabe destacar que en este caso, no se logró la recuperación total de los edificios, por una razón, el material subexcavado (limo arenoso, de origen lacustre con una rigidez debida al proceso de secado solar al que seguramente fue expuesto al subir y bajar el nivel del lago

---

<sup>8</sup> Cuevas R., Flores J., *Revisión Geotécnica de la cimentación de un conjunto habitacional en Coapa México D.F.*, Asesores en Cimentaciones y mecánica de suelos SA de CV, Tlalnepantla México 1999.

<sup>9</sup> Palmerín P., Cuevas R., *Revisión geotécnica de la cimentación de un edificio en una unidad habitacional en Iztapalapa , México D.F.*, Asesores en cim. Y mec. De suelos SA de CV, Tlalnepantla Mex. Julio 2000

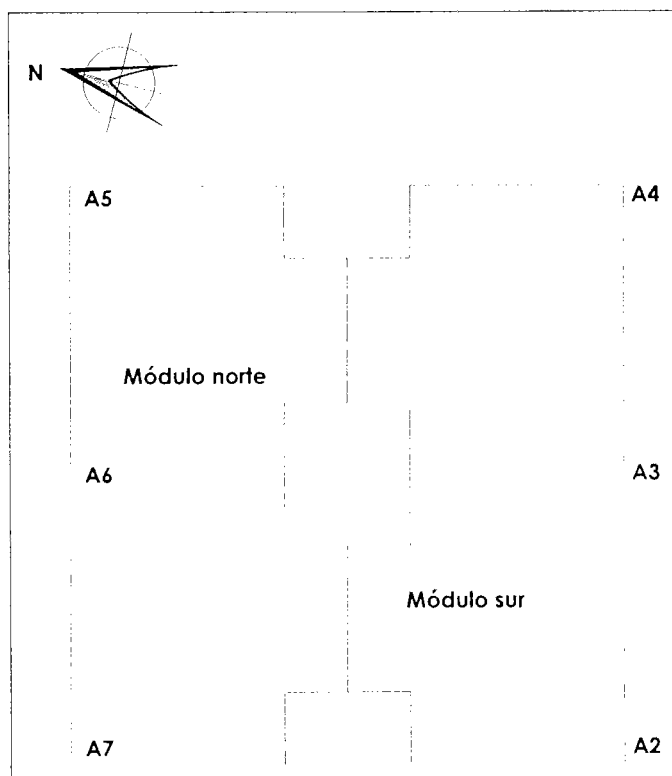
durante las temporadas de estiaje y lluvias) poseía muy bajo índice de plasticidad, que impedía generar de modo confiable la deformación controlada, en la cual se basa el éxito de la subexcavación, la evolución de la corrección se fue logrando en forma paulatina, sin embargo, se detuvo en los porcentajes antes mencionados, y tras un periodo de intentos para lograr mayor corrección, se tomó la decisión de dar por terminados los trabajos, una vez que la corrección alcanzada los había puesto dentro de rangos tolerables.

El trabajo de nivelación de una estructura mediante subexcavación, implica romper el estado de inercia de la misma y manipular las deformaciones del suelo en función de los requerimientos, la actividad en sí representa un estado de riesgo y de mucha responsabilidad, y lo es más aún si las viviendas se encuentran ocupadas.

Por lo anterior, es conveniente monitorear minuciosamente la evolución de los desplazamientos de la estructura, en este caso, se establecieron puntos de control de nivelaciones como se ilustra en la siguiente figura 3.7, los cuales fueron objeto de monitoreo desde varias semanas antes de iniciados los trabajos de subexcavación, y se continuaron verificando, a razón de una vez por semana con equipo topográfico, y cada tercer día con manguera de nivel o con nivel láser de bolsillo, y a menos que en el transcurso de la semana se detectaran movimientos excesivos se programaban entonces mas de una verificación con equipo topográfico por semana, en base a los resultados obtenidos de estos levantamientos, se elaboraron las gráficas que se muestran a continuación (Fig. 3.8 y 3.9) y en las que se puede apreciar la evolución de la corrección del hundimiento diferencial para cada uno de los edificios.

Así mismo, en dichas gráficas se puede apreciar como el módulo norte alcanzo mayor porcentaje de corrección que el módulo sur, incluso en una fecha mas temprana, a pesar de que sus características en general son idénticas

La corrección total no se completó debido a que el asentamiento generado en la cabecera oriente de ambos edificios continua siendo de mayor magnitud que la inducida por el método de subexcavación, fue entonces que con el propósito de incrementar la deformación en el sentido opuesto al hundimiento, se colocó lastre en el interior de las celdas del cajón de cimentación de la cabecera poniente, el cual permanece allí alojado con carácter permanente, sin que a la fecha se tengan variaciones importantes



*Fig.3.7 Planta de las estructuras y ubicación de puntos de control para monitoreo*





### **Caso 03**

*Ubicación:* Ecatepec Estado de México.

*Zonificación geotécnica:* Antiguo lago de Texcoco.

*Edificios multifamiliares de tres niveles dispuestos en módulos de seis, cuatro y dos edificios.*

*Estructuración:* mediante muros de carga y losas de concreto reforzado.

*Tipo de cimentación:* Losa cimentación individual para cada edificio.

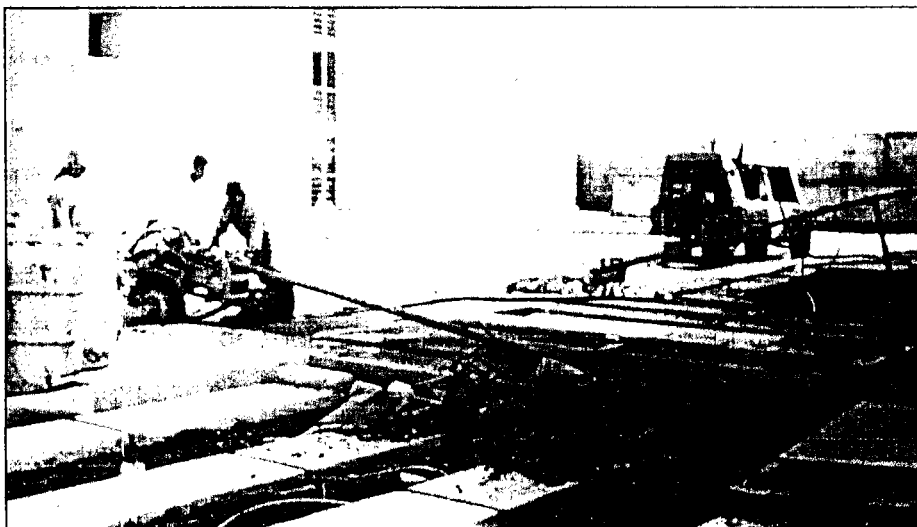
*NAF:* -3,00 promedio.

*Situación:* cada uno de los edificios de los módulos presentan hundimiento diferencial convergente hacia el centro de dicho módulo del orden de 20 cm., con la consecuente inclinación de los mismos, lo que ocasiona además que los edificios hagan contacto entre sí en sus niveles superiores.

*Causas del daño.* Antes de la construcción se revisó en forma individual el comportamiento de la cimentación de cada edificio, se resolvió la cimentación mediante una losa continua para todos los edificios de un módulo, y que además prevalecería en los cubos de luz y en las esquinas, sin embargo el constructor, omitió por error la anterior indicación, y se construyeron losas de cimentación individuales para cada edificio de un mismo módulo, las losas de cimentación se construyeron juntas, y estructuralmente independientes, en esta disposición las losas en conjunto se comportaron como una sola área cargada, y como se mencionó en el capítulo dos, bajo una misma área cargada la concentración de esfuerzos es mayor al centro que en la periferia, por lo que el área central es la mas propensa a sufrir deformaciones y para contra restar esto, la cimentación debe ser lo suficientemente rígida para no flambearse, en el caso que nos ocupa, al tratarse de varias losas independientes, no existía dicha rigidez, y al presentarse el esfuerzo mayor al centro de cada módulo, como consecuencia lógica se presentó un hundimiento diferencial en cada edificio con tendencia hacia el centro del módulo.

Cabe resaltar que este fenómeno se presentó invariablemente (aunque con diferentes magnitudes) en todos los módulos de la unidad habitacional; lo anterior denota además una cierta negligencia por parte del ejecutor, ya que el fenómeno comenzó a presentarse desde la construcción de planta baja, y no fue sino hasta la etapa final de la construcción que se solicitó el apoyo de especialistas.

**Solución.** Según la naturaleza de los hundimientos, y en función de la economía, se optó por la técnica de subexcavación; particularmente ejecutada mediante barrenos realizados con equipo neumático; lo cual consistió en perforaciones de 4" de diámetro y longitudes variables en todo el perímetro de los módulos de edificios (Fig. 3.7-3.8) , se realizó un monitoreo permanente de la evolución de las estructuras con el fin de poder frenar la deformación oportunamente y evitar asentamientos excesivos que generaran inclinaciones en el sentido contrario al daño. Al lograrse una corrección de la verticalidad, se procedió a la restitución del suelo subexcavado mediante una inyección de lodo fraguante, el cual debe cumplir en peso volumétrico y resistencia con las propiedades naturales del suelo extraído, con el fin de evitar en un futuro hundimientos diferenciales por esta causa.



*Fig. 3.7 Subexcavación con equipo neumático*

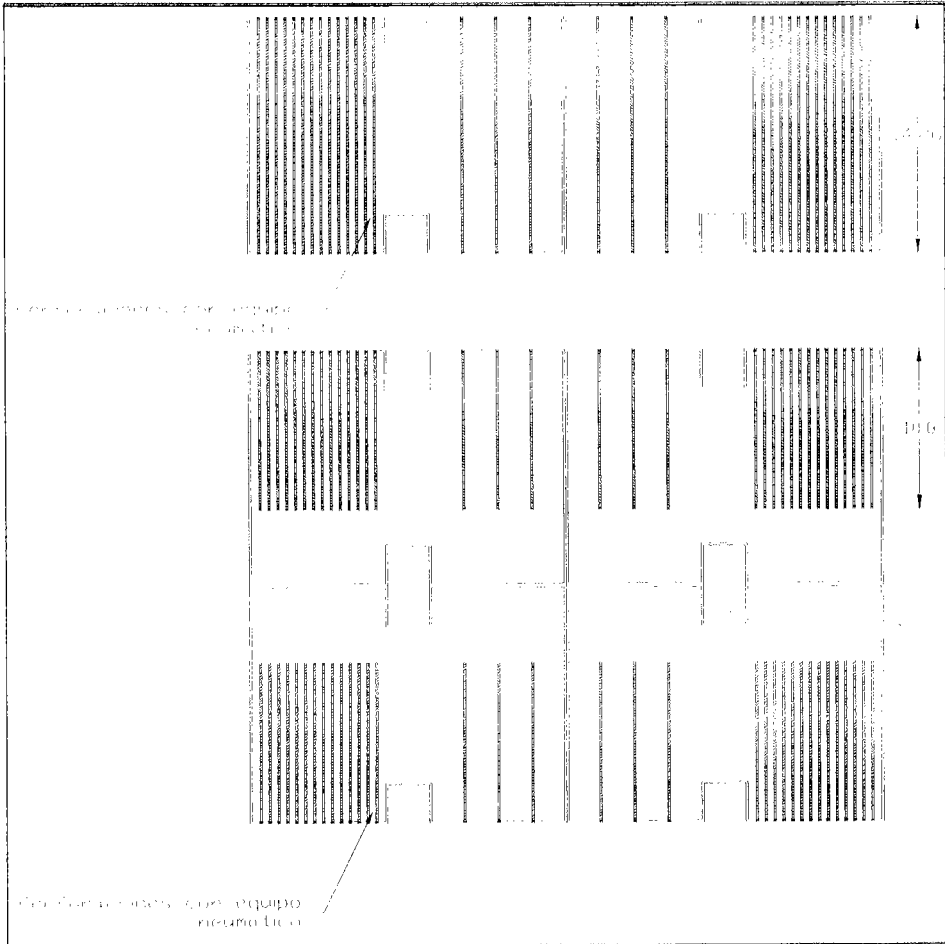


Fig. 3.8 Plan de ataque para la realización de perforaciones con equipo neumático

Una vez detenido el proceso de renivelación, se procedió a la colocación de calzas metálicas ubicadas en las juntas existentes entre los edificios del mismo módulo, al nivel de las losas de entrepiso; lo anterior, con el propósito de rigidizar la superestructura y evitar así que se presentara nuevamente el hundimiento diferencial concéntrico en los módulos de edificios.

Por otra parte, se construyó un banco de nivel profundo dentro de la unidad habitacional, con el fin de continuar monitoreando el comportamiento de los edificios durante el hundimiento regional<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Palmerin P., Cuevas R. *Estudio geotécnico para la cimentación de un conjunto habitacional en Ecatepec, Edo de México*; Asesores en cimentaciones y mecánica de suelos, SA de CV, Tlalneptla, México, noviembre de 1998.

#### **Caso 04**

*Ubicación:* Coacalco Estado de México.

*Zonificación geotécnica:* Antiguo lago de Texcoco.

*Multifamiliares horizontales de dos niveles dispuestos en trenes de cuatro a ocho viviendas por tren.*

*Estructuración:* Muros de carga y losas de vigueta preesforzada.

*Tipo de cimentación:* Losa de cimentación con contratrabes atrincheradas desplantadas a nivel de rasante sobre 80 cm. de material mejorado.

*Situación:* Un total de 18 viviendas alojadas en tres estructuras horizontales (una cuádruplex y dos séxtuples), presentan hundimiento diferencial cuyo rango de seguridad es inadmisibles, y se denota en una severa inclinación hacia la parte posterior del tren de casas, donde por cierto se ubica un predio baldío.

*Causa del daño:* Una primera hipótesis suponía que el hundimiento diferencial se debía a la infiltración del agua de lluvia que se encharcaba en el predio baldío y que como consecuencia saturaba al material de desplante incrementando así el contenido de agua de la masa de suelo y disminuyendo la capacidad de carga del mismo; sin embargo, una vez iniciados los trabajos de subexcavación, se detectó que la verdadera causa del hundimiento se debía a que la parte posterior del tren de casas se había desplantado sobre un antiguo canal de riego que se ubicaba a lo largo de todo el tren de casas, cuyo desasolve y relleno (a base de tezontle), para la construcción de las viviendas, había sido deficiente, aunque efectivamente durante la época de lluvias el agua se canalizaba a través del relleno granular (tezontle) que se había colocado dentro del canal, dicho material posee una alta permeabilidad, con esto, se sobresaturaba la arcilla (subyacente al relleno compactado) debilitándose su capacidad de carga, y además el mismo tezontle al lubricar el agua los contactos entre sus partículas, sufría modificaciones en su compacidad y como consecuencia también disminuía su volumen, todo lo anterior

en conjunto propició que el hundimiento diferencial hacia la parte posterior, ocurriera en toda la trayectoria del antiguo canal<sup>11</sup>.

**Solución.** En el caso del tren de casas, se aplicó la técnica de subexcavación en 12 de las 16 viviendas, obteniéndose resultados aceptables, sin embargo, como se mencionó en la descripción del problema, en este caso, durante la subexcavación se detectó la presencia de un antiguo canal de riego, con relleno deficiente, el cual fue el verdadero origen del hundimiento diferencial, sin embargo, la recuperación de la verticalidad se obtuvo sin contratiempos mayores; asimismo se recomendó al constructor la hechura de una pantalla perimetral a base de mortero fluido (aligerado con perlillas de poliestireno para lograr un peso volumétrico aceptable) con el propósito de evitar la infiltración de agua hacia el relleno de tezontle; sin embargo, la mencionada pantalla fue construida tardíamente; y durante el intervalo se presentó una lluvia gran intensidad, lo que ocasionó que nuevamente el tren de casas continuará su hundimiento diferencial hacia la parte posterior, aunque esta vez no rebasó los rangos de admisibilidad.

Por otra parte, dentro de esta misma unidad habitacional un tren de cuatro viviendas presentó hundimiento diferencial de un orden de 10 cm exclusivamente en una de sus cuatro esquinas; originado evidentemente, por la construcción de una ampliación (mal planeada) en uno de sus extremos, lo que propició una concentración de esfuerzos en la esquina mencionada; cabe destacar que lo anterior reflejó un daño en la superestructura visiblemente superior al que presentaban otras estructuras afectadas por hundimientos diferenciales mayores. Tras un minuciosa realizada por especialistas tanto de geotecnia de estructuras, se llegó a la conclusión de que la mayoría de los daños que presentaba la superestructura, no fueron ocasionados por el hundimiento; sino por deficiencias en la edificación, entre las que se detectaron (en algunos casos) ausencia de escalerillas y castillos ahogados, así como deficiente liga estructural entre muros y

---

<sup>11</sup> Arenas F., Cuevas R., *Estudio Geotécnico para determinar las causas de los asentamientos diferenciales en algunas casas de un conjunto habitacional localizado en el municipio de Coacalco Edo Mex*; Asesores en cimentaciones y mec. de suelos, SA de CV, Enero de 2001

losa tapa de las viviendas. Así mismo, se pudo determinar que el hundimiento diferencial en la esquina de la estructura, se debió a la construcción mal planeada de una estructura anexa por parte del propietario

Entre las acciones correctivas que se tomaron, destaca el refuerzo integral de la superestructura y la demolición parcial del anexo construido (para eliminar la influencia de este en el hundimiento); por otra parte, en principio se recurrió a la colocación de lastre combinado con subexcavación con el propósito de revertir la inclinación, sin embargo, al no obtenerse la corrección esperada, se optó por recurrir a la técnica de recimentación mediante zapatas aisladas apoyadas a 2.5 m de profundidad (ubicación del estrato resistente) y con la utilización de gatos hidráulicos levantar la parte mas baja de la estructura. El trabajo de nivelación se ejecutaría por etapas, mediante pequeños incrementos de presión a través del gato hidráulico, el cual se aplicaría de modo intercalado entre los diferentes apoyos (con el fin de abatir costos), hasta que se haya obtenido la corrección contemplada.

Cabe mencionar que a la fecha de la elaboración del presente trabajo de investigación, no se han iniciado los trabajos de recimentación para estas cuatro viviendas

## CONCLUSIONES CAPITULO III

Para la renivelación de estructuras en unidades habitacionales, en el Valle de México, la técnica mas empleada ha sido la de subexcavación, debido a :

- Los resultados que se obtienen con esta técnica son bastante aceptables y en un periodo de tiempo razonable.
- El tipo de estructuras relativamente ligeras y con cimentaciones someras, facilita la implementación de este procedimiento.
- Para la aplicación de este método no es indispensable la desocupación del inmueble en cuestión.
- El costo de renivelación mediante esta técnica es de los mas accesibles, solo superado por el procedimiento de Lastre, aun así, la subexcavación es más efectiva (este punto, influye bastante en la decisión de los inversionistas al momento de seleccionar el tipo de procedimiento).
- Siempre que es posible, se combinan varios procedimientos, principalmente los métodos de subexcavación con la aplicación de lastre.
- Son muy pocos los casos documentados de renivelación en unidades habitacionales mediante la técnica de recimentación (en cualquiera de sus variantes), esto debido principalmente al alto costo que representan, a pesar de que con ellos se obtiene mayor precisión.

Por otra parte, en el valle de México, no se han detectado casos de hundimientos diferenciales en viviendas, ocasionados por arcillas expansivas, por lo que en este capítulo no se abordó el tratamiento que se deba llevar a cabo en dicha circunstancia.

## ANEXO III.1

### Pilotes con control mecánico.

Muchos esfuerzos se han realizado para modificar las limitaciones de los pilotes de control tradicionales señaladas en el anterior capítulo, los más importantes se han dirigido hacia la sustitución de las celdas de madera por materiales con leyes de deformación más confiables o sistemas mecánicos de ajuste; otros esfuerzos se han enfocado a la modificación total del sistema de control. No existen muchas experiencias documentadas o publicadas, sin embargo se pueden mencionar las siguientes:

- A) *Sustitución de los cubos de madera.* Se han implementado gatos de arena exteriores formados por cilindros metálicos rellenos de arena seca o formando parte integral de la cimentación *Fig. III.1a* (Correa), en ambos casos con tapones para extraerla; gatos hidráulicos con aceites de alta viscosidad, neoprenos de alta dureza (TGC Ingeniería).
  
- B) *Sustitución del puente de reacción y de la celda deformable.* En el instituto de ingeniería de la UNAM se desarrolló un mecanismo basado en el principio del rolado por flexión plástica de soleras metálicas, a los que se denominó elementos "J" *Fig. III.1b*. Otros dos sistemas son los de control de fricción regulada; el primero por medio de placas y tornillos a presión *Fig. III.1c*; el segundo con un gato de fricción con anclas metálicas *Fig. III.1d* (aunque no se conoce ningún caso práctico empleando estos mecanismos).

En general las propuestas han sido para mejorar y/o adecuar los mecanismos para evitar la inestabilidad de los puentes de carga, así como su capacidad para tomar tensiones y la colocación de algunos dispositivos de regulación de deformación controlada.



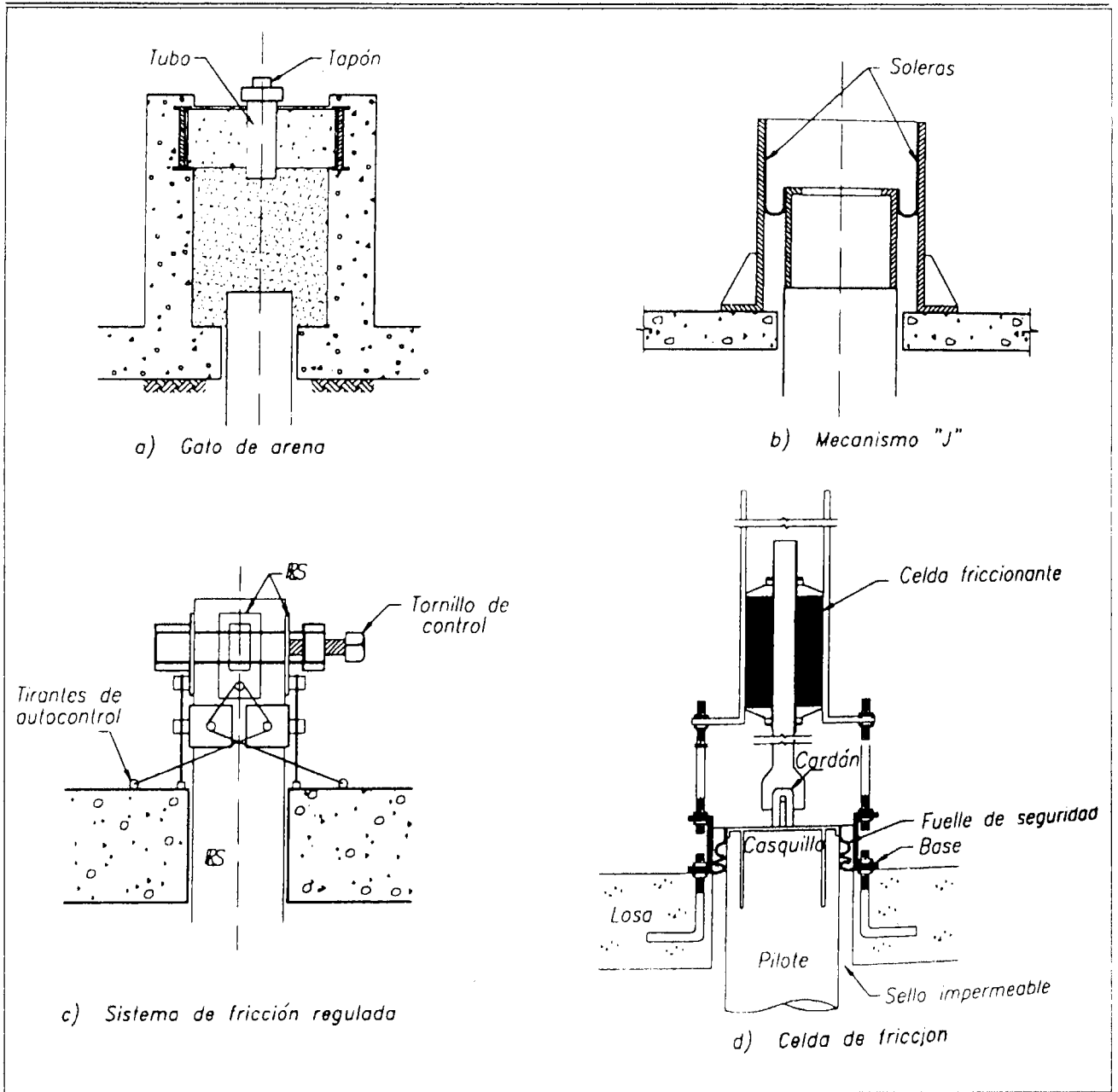


Fig. III.1 Sistemas de control

## ANEXO III.2

### Unidades habitacionales desahuciadas como consecuencia de hundimientos diferenciales.

Existe la posibilidad de que el daño sufrido por una estructura como consecuencia de un hundimiento diferencial, la haya deteriorado al grado tal de que su restauración represente un costo mas elevado que su propia demolición y posterior reconstrucción, sin embargo en algunos casos, por cuestiones de imagen una promotora, o bien, un instituto de vivienda absorben dichos costos, con el propósito de conservar su integridad moral.

Por otro lado, en el área metropolitana del valle de México, se sabe de al menos dos casos documentados, de unidades habitacionales en las que, el daño fue general a todas las estructuras; y que por razones de toda índole, no fue posible ejecutar su renivelación, por lo que sufrieron una inclinación tal, que las superestructuras se dañaron al máximo, y aunque en ningún caso llegaron al colapso, el conjunto habitacional completo fue desahuciado, previo desalojo y reubicación de la totalidad de sus habitantes.

Un ejemplo lamentable de lo mencionado anteriormente, fue la denominada Unidad Habitacional CTM XIV, Ubicada en Valle de Aragón, la cual ocupaba aproximadamente tres hectáreas y tenía una capacidad estimada de 200 viviendas ordenadas en edificios multifamiliares de tres niveles.

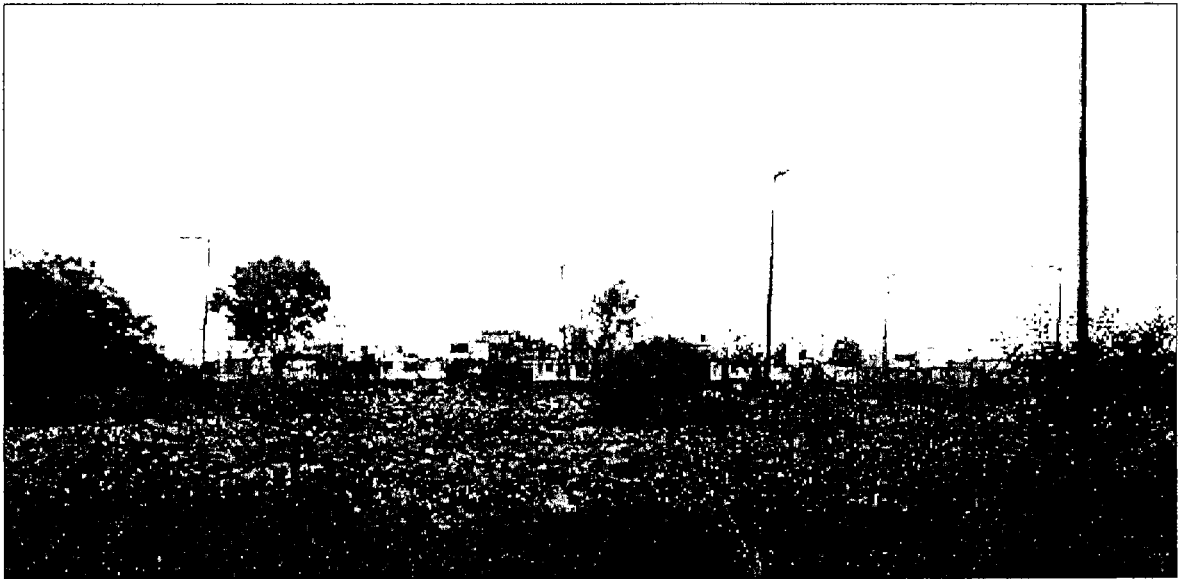
A finales de los años ochenta (casi de inmediato a su construcción) se comenzaron a presentar hundimientos excesivos, tanto generales como diferenciales, en la totalidad de sus edificios, tras la evaluación de especialistas en mecánica de suelos <sup>12</sup>, se dictaminó que los hundimientos habían sido ocasionados por la antigua operación de pozos de bombeo (durante los años

---

<sup>12</sup> TGC Geotécnia S.A. de C.V. , “*Estudio Geotécnico estructural para la Unidad Habitacional CTM XIV, ubicada en Ecatepec, Estado de México*”, TGC94-1660, Proyecto 924, Agosto de 1994, pag 14

50's), que asociado al hundimiento regional habían generado mayor consolidación en las áreas mas cercanas a los pozos, y como consecuencia ante la carga de los edificios, el área de suelo mas consolidado sufrió menos deformaciones que el resto de la superficie ocasionando así los hundimientos diferenciales, argumentando por otra parte, en descargo a los originales diseñadores y a los promotores, que dicha situación no hubiera sido posible ser detectada o prevista en la época anterior a la construcción, ya que en esos años no se contaba con la tecnología geotécnica que se tiene hoy en día para evaluar ese tipo de condiciones.

Posteriormente, la Unidad CTM XIV fue desahuciada en 1996, y se inició la reubicación de sus habitantes por parte del INFONAVIT en ese mismo año, en el año 2000 se decidió demolerla completamente, hoy en día el predio se encuentra abandonado, ocupado solo por escombros producto de demolición y algunos postes de alumbrado público que continúan en pie en torno a lo que fueran los estacionamientos.



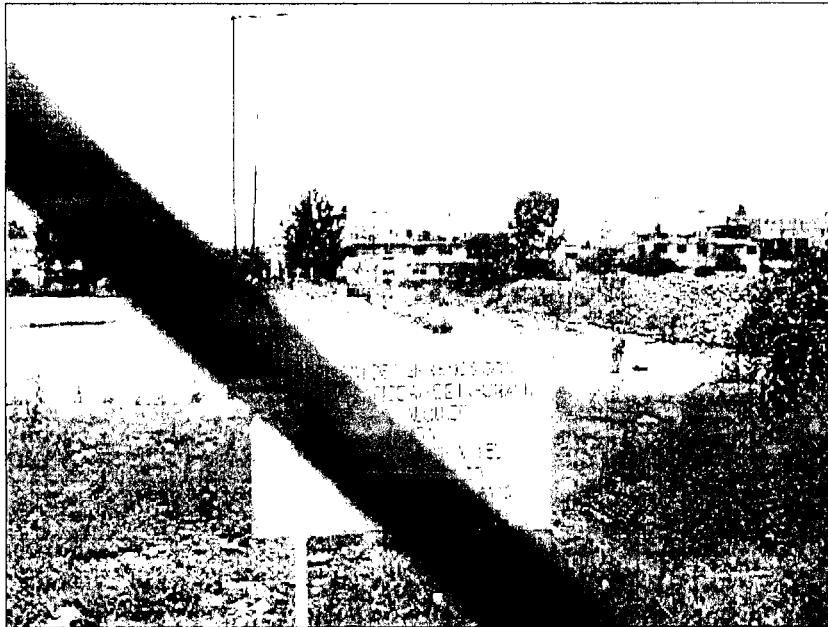
*Fig. a.3.2.1 panorámica de una de las manzanas de la U.H. CTM-XIV*



*Fig a.3.2.2 Panorámica de tres de las manzanas de la U.H.*



*Fig. a.3.2.3 Acercamiento de los escombros producto de demolición.*



*Fig. a.3.2.4 Letrero que informa que la propiedad de los predios corresponde al INFONAVIT*

### **ANEXO III.3**

#### **Fabricación de lodo fraguante para restitución de suelo en trabajos de subexcavación.**

La restitución del material extraído una vez que se ha logrado la renivelación de una estructura mediante el método de subexcavación, se realiza mediante la inyección de una mezcla que debe cumplir principalmente con las siguientes características:

1. su peso volumétrico debe ser similar al peso del material que se extrajo, o bien, al del suelo que aún funciona como desplante en el área del cimiento que no haya sido subexcavada, esto con la intención de que el material de sustitución no funcione como un lastre y genere deformaciones no deseadas.
2. La deformabilidad y resistencia a la compresión simple debe ser similar al del suelo en el cual se apoya el área del cimiento que no fue subexcavada,

ya que en el caso de que la deformabilidad de la mezcla sea de una resistencia menor a la del suelo, se estará propiciando una deformación en el área del cimiento que sea soportada por la mezcla, asimismo, si la resistencia de la mezcla es superior a la resistencia del suelo, entonces seguramente se generará una deformación en dirección a la zona que es soportada por el suelo.

3. La colocación de la mezcla debe realizarse de tal modo que se garantice el contacto con la base del cimiento.

En la práctica, se han obtenido buenos resultados para el cumplimiento de los puntos antes mencionados, mediante una mezcla fabricada en obra, conocida como lodo fraguante y que está constituida por tres elementos: agua, cemento y bentonita; su dosificación varía de acuerdo a la resistencia a la compresión simple que se desee obtener; es decir que para cada caso se deberán realizar ensayos de laboratorio, con el fin de emular las características del suelo del sitio. En algunos casos se permitirá sustituir la bentonita por el suelo mismo extraído durante la subexcavación; siempre que este posea propiedades semejantes a las de la bentonita en cuanto a viscosidad y comportamiento del fenómeno de decantación, ya que estos dos aspectos sirven como parámetros para revisar si puede funcionar como estabilizador de volumen e inhibidor, las cuales son funciones principales de la utilización de la bentonita.

*Fig.3.3.1 Mezclas de pruebas de lodos fraguantes obtenidos por Solum<sup>13</sup>*

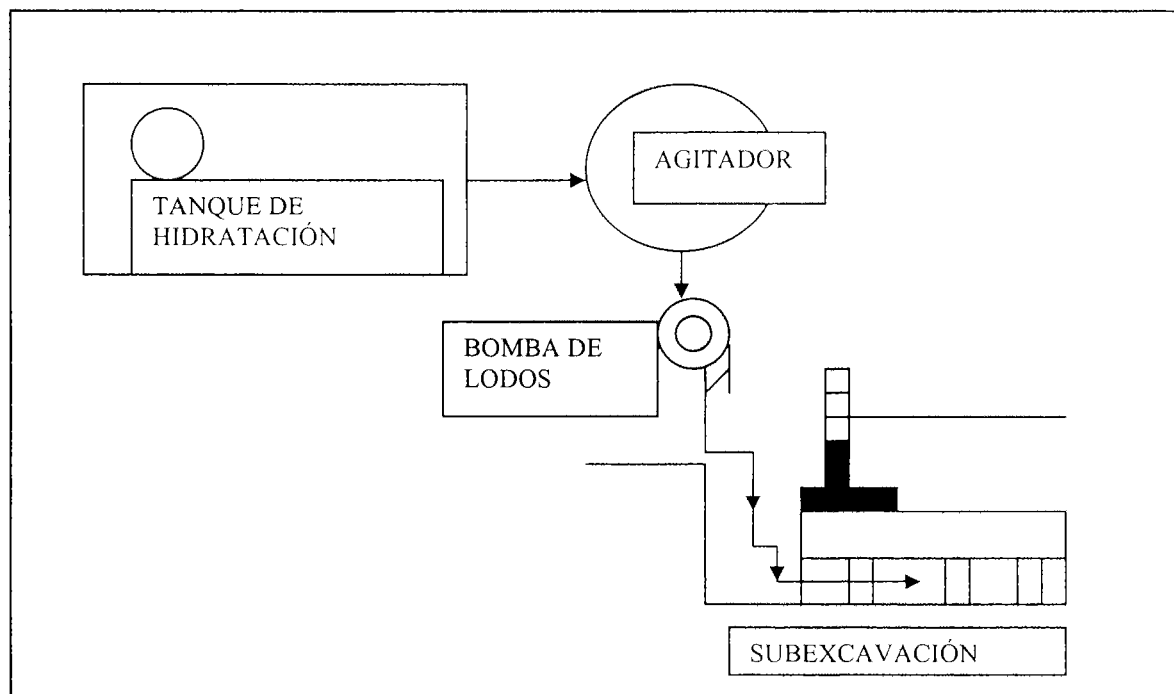
Mezcla N°	Dosificación en Kg (%)			Relación A/C	Peso Vol. t/m3	Resistencia kg/cm2
	Agua	Cemento	Bentonita			
1	944 (87%)	95 (8%)	60 (5%)	9.94	1.21	0.22
2	916 (80%)	183 (15%)	55 (5%)	5.00	1.23	0.57
3	903 (79%)	226 (17%)	54 (4%)	4.00	1.28	1.04
4	809 (76%)	267 (20%)	53 (4%)	3.33	1.26	2.10

<sup>13</sup> Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. Manual de Construcción Geotécnica, tomo I, S.M.M.S., 2002, México, D.F. Pag. 90.

A continuación se describe brevemente el proceso de fabricación de lodo fraguante:

- 1. Mezclado e hidratado:** En un tanque de preparación se mezcla el agua con la bentonita, el cual se realiza haciendo pasar la bentonita por un chiflón de agua, la cual esta constantemente recirculando en un circuito cerrado durante 15 minutos, con la ayuda de una bomba de lodos, una vez que se tiene un lodo homogéneo, se deja hidratar durante 24 hrs.
- 2. Proceso de batido:** Una vez que se tiene el lodo bentonítico hidratado, se envía a un tanque mezclador donde se le adiciona cemento, mediante la utilización de un agitador eléctrico de paletas, cabe destacar que el cemento se incorpora a la mezcla justo antes de la utilización del lodo, con el fin de que su fraguado no interfiera con su colocación.
- 3. Transporte y colocación:** El envío de lodo hacia la subexcavación se realiza mediante mangueras especiales que permitan su colocación hasta los sitios mas recónditos de la excavación.

Fig. 3.3.2 Diagrama de instalación para fabricación de lodos



## FUENTES DE CONSULTA, CAPITULO 3

1. Arenas F., Cuevas R., *Estudio Geotécnico para determinar las causas de los asentamientos diferenciales en algunas casas de un conjunto habitacional localizado en el municipio de Coacalco Edo Mex*; Asesores en cimentaciones y mec. de suelos, SA de CV, Enero de 2001.
2. Arenas Flores Santiago Fernando, Tesis profesional : *Subexcavación, una alternativa para la renivelación de edificios de interés social*, Ingeniería Civil, UNAM, ENEP Acatlán, 2004
3. Cuevas R., Flores J., *Revisión Geotécnica de la cimentación de un conjunto habitacional en Coapa México D.F.*, Asesores en Cimentaciones y mecánica de suelos SA de CV, Tlalnepantla México 1999.
4. García Ramos, Luis, *Recimnetaciones, Presentación*, SMMS, México DF, 1990.
5. Palmerin P., Cuevas R., *Revisión geotecnica de la cimentación de un edificio en una unidad habitacional en Iztapalapa , México D.F.*, Asesores en cim. y mec. de suelos SA de CV, Tlalnepantla Mex. Julio 2000
6. Palmerin P., Cuevas R. *Estudio geotécnico para la cimentación de un conjunto habitacional en Ecatepec, Edo de México*; Asesores en cimentaciones y mecánica de suelos, SA de CV, Tlalnepantla, México, noviembre de 1998.
7. Tamez G. E *La catedral y el Sagrario de la Ciudad de México, corrección del comportamiento de sus cimentaciones*, Sedesol TGC, 1995
8. Segovia Pacheco, J A., *Manual de Cimentaciones profundas*, S.M.M.S., Fundación ICA, México DF. 2001,pp. 247



## CONCLUSIONES GENERALES

Las deformaciones verticales en el Valle de México (entre ellas las que generan hundimientos diferenciales), están asociadas a dos factores:

1. Compresibilidad : Variación de esfuerzos en la masa de suelo que ocasiona la aplicación de una carga, la cual produce deformaciones.
2. Consolidación: Disminución de volumen de la masa de suelo, debida a la expulsión o extracción del agua contenida en sus poros.

Inherente al fenómeno de consolidación está el hundimiento regional, ya que al extraer mediante bombeo grandes volúmenes de agua, se abate el esfuerzo de poro modificándose el estado de esfuerzos en la masa de suelo, y generando un hundimiento que afecta grandes regiones del Valle de México, específicamente en las zonas del lago y de transición.

Un hundimiento diferencial ocurre bajo diversas circunstancias, pero, mientras dicho diferencial no exceda el estado límite de servicio establecido en las NTC-CIM se considerará que una edificación es estructuralmente segura (hundimiento diferencial admisible), sin embargo, si el diferencial excede dicho parámetro, la estructura se considera insegura, se dice entonces que el diferencial es inadmisibile.

Si bien un hundimiento diferencial puede ocurrir en cualquier tipo de inmueble, es de particular interés que se presenten con cierta recurrencia en unidades habitacionales, en parte debido a la dinámica de construcción propia de los promotores de vivienda, que en ocasiones, pierdan de vista las precauciones enfocadas a garantizar la estabilidad de los inmuebles, o bien, desde su etapa de diseño se arrastren deficiencias. Aunque en otros casos los hundimientos obedecen a causas ajenas al diseño y construcción

El INFONAVIT está promoviendo actualmente la creación de un seguro contra daños físicos (específicamente hundimientos diferenciales), ya que esto genera mucha inconformidad y descontento entre los afectados. Lo que repercute en el retraso de pagos y desprestigio tanto del promotor como de instituto.

En teoría, desde la etapa de diseño geotécnico, podrían hacerse las consideraciones pertinentes para evitar la ocurrencia de hundimientos diferenciales, sin embargo, sucede que al no tenerse presentes todos los factores, se omiten situaciones que pudieron ser previsibles.

Durante el proceso constructivo, es factible aun realizar correcciones a deficiencias de análisis, siempre y cuando se notifiquen oportunamente los eventos o deformaciones irregulares durante el transcurso normal de la obra, ya sea en la misma edificación o en estructuras vecinas; o por otra parte, la ocurrencia de eventos, cuya magnitud escape a todo pronóstico, por ejemplo: un sismo de gran magnitud, una inundación extraordinaria, el uso inadecuado del inmueble y/o el comportamiento deficiente de alguna estructura vecina, etc.

Un hundimiento diferencial se puede originar por la interacción o combinación de diversas causas.

Para la renivelación de inmuebles en unidades habitacionales en el Valle de México, la técnica más empleada ha sido la de subexcavación, debido a :

- Los resultados que se obtienen con ésta son bastante aceptables y en un periodo de tiempo razonable.
- El tipo de estructuras relativamente ligeras y con cimentaciones someras, facilita la implementación de este procedimiento.
- Para la aplicación de este método no es indispensable la desocupación del inmueble en cuestión.

- El costo de nivelación mediante esta técnica es el más accesible, sólo le antecede el procedimiento de lastre, aun así, la subexcavación es más eficaz (este aspecto, es determinante en la decisión de los inversionistas al seleccionar el procedimiento a utilizar).
- Siempre que es posible, se combinan varios procedimientos, principalmente los métodos de subexcavación con la aplicación de lastre, con el propósito de acelerar el proceso correctivo.
- Son pocos los casos documentados de nivelación en unidades habitacionales mediante la técnica de recimentación debido principalmente al alto costo de estos en comparación con los otros dos.

Por otra parte, en el Valle de México, no se han detectado casos de hundimientos diferenciales en viviendas, ocasionados por arcillas expansivas.

## FUENTES DE CONSULTA GENERAL

1. Anzaldúa, Roberto, *Manual de Construcción Geotécnica Vol 2, Cap 20 Abatimiento del Nivel freático para la construcción*, Sociedad mexicana de Mecánica de suelos, México, DF 2002.
2. Arenas Flores, S.F., Cuevas R. A., *Estudio geotécnico para determinar las causas de los asentamientos diferenciales de algunas casas de un conjunto habitacional, localizado en el municipio de Coacalco, Edo Méx.* Asesores en Cimentaciones, SA de CV, Enero de de 2001
3. Arenas Flores Santiago Fernando, Tesis profesional : *Subexcavación, una alternativa para la renivelación de edificios de interés social*, Ingeniería Civil, UNAM, ENEP Acatlán, 2004
4. Arenas Flores, S.F., Cuevas R. A., *Estudio geotécnico para determinar las causas de los asentamientos diferenciales de algunas casas de un conjunto habitacional, localizado en el municipio de Coacalco, Edo Méx.* Asesores en Cimentaciones, SA de CV, Enero de de 2001
5. Arnal Simón, Luis, *Nuevo reglamento de construcciones para el Distrito Federal*, Ed. Trillas.
6. Comisión de Vigilancia de la Asamblea General del INFONAVIT, "*Acta de aclaraciones del procedimiento de licitación pública 16/2003 para la contratación de la póliza de riesgo de pérdida o daño físico que cubra a todas las viviendas financiadas por el instituto*", punto 47
7. Consorcio ARA, *Manual del Propietario ARA Conjunto Urbano San Buenaventura.*
8. Cuevas R., Flores J., *Revisión Geotécnica de la cimentación de un conjunto habitacional en Coapa México D.F.*, Asesores en Cimentaciones y mecánica de suelos SA de CV, Tlalnepantla México 1999.
9. García Ramos, Luis, *Recimnetaciones, Presentación*, SMMS, México DF, 1990.
10. Holguin, Ernesto, *Diseño geotécnico de cimentaciones*, Ed. TGC, México D.F., 1992.
11. H. Asamblea general del INFONAVIT, *Informe anual de actividades del INFONAVIT correspondiente al ejercicio 2001*, 5 Aspectos técnicos; 5.3 Supervisión de obra.

12. H. Asamblea General del INFONAVIT, *Recomendaciones de la Comisión Primera de la Asamblea General Ordinaria del INFONAVIT*.
13. Juárez Badillo, Eulallio, *Mecánica de suelos tomo I*, Ed. Noriega, México D.F.
14. Juárez Badillo, Eulalio, *Mecánica de suelos Tomo II*, Ed Limusa.
15. Muñiz Luis, *El Universal Gráfico* (Jueves 9 de octubre de 2003), *Unidades vecinales bomba de tiempo*.
16. Palmerin P., Cuevas R. *Estudio geotécnico para la cimentación de un conjunto habitacional en Ecatepec, Edo de México*; Asesores en cimentaciones y mecánica de suelos, SA de CV, Tlalnepantla, México, noviembre de 1998.
17. Sámano, A, *Geotecnia y su relación con el medio ambiente, XVII reunión nacional de mecánica de suelos (Xalapa Ver.)*, *Asentamientos diferenciales de estructuras provocados por la desecación generada por la vegetación en el Valle de México.*, SMMS, México, 1994.
18. Sánchez Guerrero, Arturo, Director Técnico de la SOFOL General Hipotecaria, Exposición durante la sesión del día 28 de octubre de 2003, del Seminario-taller extracurricular "Diseño y construcción de unidades habitacionales".
19. Tamez G. E *La catedral y el Sagrario de la Ciudad de México, corrección del comportamiento de sus cimentaciones*, Sedesol TGC, 1995
20. Tamez González, Enrique, *Ingeniería de cimentaciones*, Ed TGC.