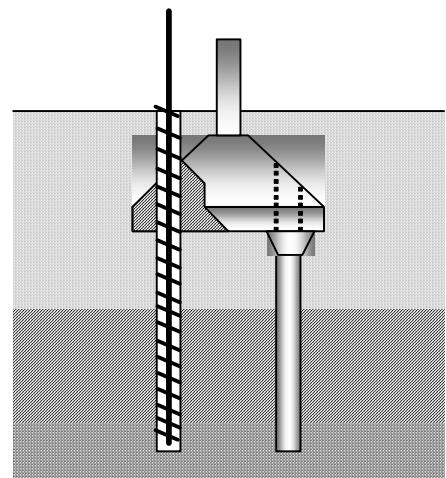


# **“PATOLOGÍA DE LAS CIMENTACIONES Y RECALCES”**



## 1. GENERALIDADES

Gran cantidad de obras padecen fallas durante su construcción o durante su vida útil debidas a problemas de cimentación, ya sea por las fundaciones mismas o por el suelo sobre las que se apoyan.

Estas fallas o deterioros son de diversa entidad, y van desde pequeños agrietamientos hasta roturas importantes que pueden poner en riesgo la seguridad de la obra misma, pasando por hundimientos, giros, asentamientos, etc.

Las fallas pueden originarse en diversas etapas de la obra:

- Proyecto
- Construcción
- Uso o mantenimiento

En el caso del proyecto los errores pueden provenir de, la elección de sistemas de fundación inadecuados, errores en el dimensionado de las fundaciones, heterogeneidades del suelo no detectadas en los estudios previos, etc.

Las que ocurren por defectos constructivos, pueden deberse al empleo de materiales inadecuados, imprecisiones en el replanteo de las fundaciones, defectos constructivos de las mismas (oquedades, errores en las armaduras, etc.), no apoyar a la cota de fundación adecuada, etc.

Finalmente las fallas que se deben al uso o falta de mantenimiento, pueden ser atribuibles a exceso de carga, acciones sísmicas, ingreso de agua al suelo, excavaciones vecinas, o un mantenimiento defectuoso de las instalaciones, etc.

Los perjuicios que este tipo de fallas provocan son importantes y pueden dividirse en:

- Materiales
- Económicos
- Sociales

Desde el punto de vista material, las fallas debidas a problemas de cimentación generan serias complicaciones constructivas, ya que debe procederse a su reparación con la edificación ya construida o incluso habitada.

En cuanto a los aspectos económicos, puede decirse que las reparaciones de los daños y los eventuales refuerzos estructurales a ejecutar resultan siempre más onerosos que la fundación original, por lo que el propietario o responsable deberá hacer frente a erogaciones importantes. Por otra parte una vivienda dañada aunque sea reparada adecuadamente se ve depreciada en su valuación para una posible venta.

El tercer aspecto a considerar, el social, es muy importante ya que puede comprometer en cierta medida el entramado social o de interacciones humanas. Por ejemplo los daños en un plan de viviendas pueden desembocar en la necesidad del traslado de los habitantes del barrio, aunque sea por el tiempo que duren las tareas de reparación.

Esto puede desembocar en situaciones conflictivas, ya que no todos los habitantes pueden ser trasladados o bien pueden crear situaciones de tensión social por protestas ante los organismos o empresas encargados de proyectar o construir esas viviendas.

Por todo ello los daños deben ser evaluados oportunamente y diagnosticar sus causas, posible evolución y eventuales reparaciones, de modo de minimizar los problemas y evitar su agravamiento o la afectación de bienes y vidas de terceros.

Por ello el peligro de ocurrencia de estas patologías debe ser tenido en cuenta a la hora de proyectar una obra, y ser incluido como un condicionante del diseño.

## 2. LAS CAUSAS

Dentro de las causas más frecuentes, están las debidas al suelo de apoyo.

En general los problemas más serios ocurren en obras fundadas sobre suelos inestables sean estos, colapsables, expansivos, o licuables. Los dos primeros son los más comunes ya que para el tercero es necesaria una acción dinámica exterior, como ser un sismo.

Existen también otras causas menos frecuentes, pero no por ello menos importantes, entre ellas pueden citarse:

- Socavaciones
- Deslizamientos de suelos
- Ataques por aguas agresivas
- Oquedades en pilotes y bases
- Fluctuaciones del nivel freático
- Heterogeneidades en el terreno
- Defectos de diseño de fundaciones
- Incremento en el nivel de tensiones
- Excavaciones de túneles o subsuelos
- Acciones dinámicas (explosiones, máquinas, sismos, hincas de pilotes)

### **Suelos Inestables**

Este aspecto ya ha sido tratado en el capítulo 2 referido a Suelos, y se considerará nuevamente en el capítulo 7 correspondiente a Análisis de Casos, por lo que no se profundizará en este.

Sólo baste decir que en nuestro medio la situación mas común se presenta en obras fundadas sobre suelos colapsables.

Algunos relevamientos muestran que más del 30% de las viviendas unifamiliares de la ciudad de Córdoba presentan algún nivel de daños. Ello es así porque, como se ha dicho, salvo la zona afectada por los derrames y erosiones del Río Suquía, el resto del área urbana está ocupada superficialmente por suelos colapsables.

### **Socavaciones**

Como se ha indicado en el capítulo 5, para que ocurra erosión es preciso la circulación de agua a una velocidad superior a la velocidad de arrastre de las partículas que componen el suelo.

En los cursos de agua y laderas, puede darse esta situación, pero ello no es excluyente, porque si se realiza una excavación en un suelo erosionable y no se toman las medidas de precaución, por ejemplo durante una lluvia, el escurrimiento de esa agua puede provocar erosiones importantes que afecten incluso a viviendas vecinas.

### **Deslizamientos de suelos**

Es el caso de viviendas construidas en proximidades de laderas o excavaciones inestables.

En la figura 1, se aprecia una vivienda ubicada próxima a una ladera. Como el talud es inestable, se produce un deslizamiento que puede involucrar parte o totalmente la obra en cuestión.

Este tipo de fallas si no es advertido en forma incipiente y solucionado urgentemente, puede provocar el colapso estructural con el consiguiente peligro para la vida y los bienes.

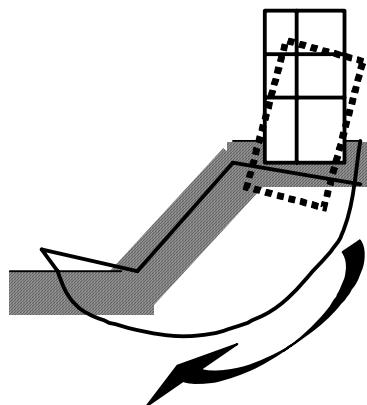


Figura 1

### **Ataques por aguas agresivas**

Las fundaciones están inmersas dentro de la masa del suelo, y el mismo puede contener sales o sustancias ácidas que disueltas en el agua subterránea ataque al hormigón, acero o madera con las que ellas están ejecutadas.

En el caso del hormigón, la presencia de sulfatos es altamente perniciosa ya que estas sustancias agreden al hormigón provocando su rápido deterioro y dejando las armaduras expuestas. Lo mismo ocurre con sustancias ácidas. La presencia de compuestos clorados que penetren dentro del hormigón, provoca la corrosión de las armaduras. La peor situación se da cuando el hormigón aún no ha fraguado, ya que el mismo se encuentra en su condición de mayor desprotección.

Si se trata, por ejemplo, de pilotes de acero, la presencia de compuestos clorados puede provocar la corrosión del material.

En cualquier caso lo que ocurre es una disminución de la sección útil de la fundación o incluso la desaparición de la misma.

### **Oquedades o defectos constructivos**

Durante el hormigonado de pilotes o bases pueden quedar zonas sin llenar, formando oquedades que afecten la sección de la fundación en forma parcial o total.

Otra situación puede ser, la falta de un adecuado recubrimiento de las armaduras o el empleo de hormigones muy porosos puede provocar la corrosión u oxidación de las armaduras con la consiguiente disminución o desaparición de la sección resistente.

Por último la ejecución de las fundaciones empleando técnicas constructivas deficientes puede provocar el desagregado de los áridos del hormigón generando una sección más débil.

Estas disminuciones o debilitamientos de las secciones resistentes, tanto del hormigón como de las armaduras, puede comprometer la resistencia del elemento y provocar su colapso.

### **Fluctuaciones del nivel freático**

Las fluctuaciones del nivel freático se refieren tanto al ascenso o descenso del mismo. Ambas situaciones generan asentamientos en los suelos, que afectarán las construcciones apoyadas en los mismos.

En el caso de ascenso del nivel freático, la presencia de agua ocupando los vacíos del suelo, provoca una disminución de las presiones que efectivamente actúan entre los granos y que son los determinantes de la resistencia al corte de los suelos. Esta disminución se da por el “alivianamiento” que sufren las partículas sólidas de un suelo sumergido, por el principio de Arquímedes.

En el caso del descenso del nivel freático, se produce un incremento de las presiones efectivas por el aumento del peso propio del suelo que se genera al desparecer la subpresión del agua. Este incremento de peso propio provoca una consolidación del suelo.

En la figura 2 se esquematizan las situaciones descriptas.

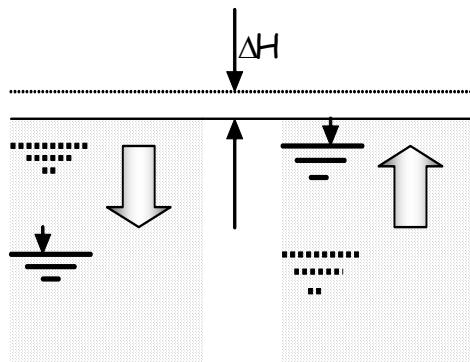


Figura 2

Esta problemática se presentó en el Sudeste de la Provincia de Córdoba durante la década de 1990, afectando numerosas localidades. Ello provocó asentamientos y daños en las edificaciones y el colapso de los pozos absorbentes.

#### **Heterogeneidades en el suelo**

Dentro de la masa del suelo pueden existir sectores más o menos rígidos que otros, o lentes de materiales más blandos, o bien que los espesores de los diferentes horizontes no sean uniformes.

En cualquiera de estas alternativas, ya sea que la obra está fundada parcialmente sobre suelo rígido y parcialmente sobre suelo blando, o si parte de la construcción afecta un lente blando y la otra parte no, o en el caso de estratos de espesor no uniforme, el resultado son asentamientos diferenciales que provocan grietas giros o colapso de las estructuras.

Este tema ha sido abordado en capítulos anteriores, al hablar de asentamientos, por lo que se abundará en el mismo.

#### **Insuficiencia en las dimensiones**

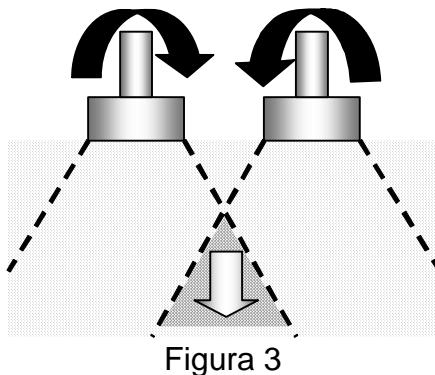
Resulta evidente que si por defectos de cálculo, de diseño o constructivos, las dimensiones de las fundaciones resultan insuficientes, se transmitirán al suelo tensiones superiores a la que el mismo puede resistir, es decir, provocar deformaciones superiores a las que puede admitir la obra en cuestión.

Esta insuficiencia dimensional también se puede referir a las secciones necesarias para que la fundación pueda soportar la carga como elemento estructural individual.

En ambas situaciones el resultado puede ser asentamientos inadmisibles por la estructura o incluso el colapso de la misma.

### **Incremento de tensiones**

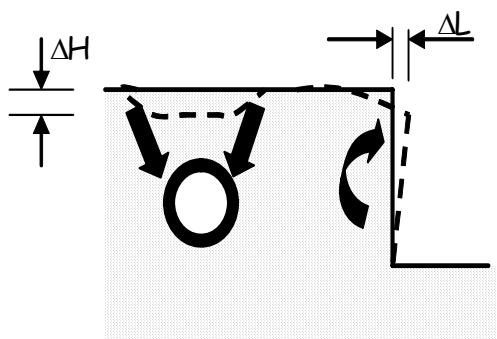
Puede darse el caso de un cambio de destino de un local, la construcción de un piso alto no contemplado en el proyecto original de una vivienda, o la interacción entre dos fundaciones próximas (figura 3).



En las situaciones descriptas, el incremento de tensiones en la masa del suelo debajo de las fundaciones puede provocar asentamientos diferenciales, que generen agrietamientos o giros en las estructuras.

### **Excavaciones y túneles**

Las excavaciones a cielo abierto y la ejecución de túneles provocan, en el terreno un cambio en el estado tensional, ya que al excavar se quita una parte del suelo que contribuía al equilibrio del conjunto.



Como se aprecia en la figura 4, estas obras producen hundimientos y desplazamientos laterales del suelo, con los consiguientes asentamientos de las obras próximas a ellas.

### **Acciones dinámicas**

Estas acciones pueden provenir de diversas fuentes, tales como máquinas rotativas o de impacto, equipos de transporte, sismos, hinca de pilotes, explosiones, etc.

El efecto que producen es un acomodamiento de las partículas de los suelos granulares, por ello el fenómeno es más significativo en suelos arenosos sueltos o saturados.

En los primeros el acomodamiento de las partículas provoca una disminución de los vacíos y por lo tanto una deformación en la masa del suelo.

En los suelos arenosos saturados, se produce el fenómeno de licuefacción, con la consiguiente deformación del suelo., De esta problemática ya se ha hecho referencia en el capítulo 2, por lo que no es necesario un análisis más profundo

Estas deformaciones provocan asentamientos en las edificaciones apoyadas sobre los suelos con los correspondientes daños a las estructuras.

Como dato de interés puede decirse que, en nuestro medio, en ocasiones se ha culpado a la hinca de pilotes o a las acciones de máquinas por los asentamientos de estructuras vecinas. Esta situación, en la gran mayoría de los casos, no ha podido ser verificada ya que los suelos loessicos tienen cohesión y por ende prácticamente no hay acomodamiento entre granos por vibraciones.

Estas acciones dinámicas tienen un componente adicional que son las vibraciones sobre los seres humanos y los ruidos. En general estos efectos tienden a crear en las personas afectadas la idea de grandes desplazamientos del suelo que son vinculados a problemas de asentamientos debidos en gran medida a otros factores, en particular el ingreso de agua en el terreno.

## **3. LOS SINTOMAS**

Una estructura que ha sufrido daños, fruto de las patologías de las cimentaciones ya descriptas, muestra una serie de síntomas.

El relevamiento y análisis de estos síntomas puede mostrar las causas que los han provocado, su fuente y eventualmente el camino hacia la solución al problema.

Los síntomas pueden ser:

- Cuadros fisurativos o de agrietamientos
- Asentamientos y hundimientos
- Distorsiones, inclinaciones y giros

Como ejemplo en las figuras 5 y 6 se aprecian agrietamientos y cuadros figurativos de importancia, que denotan un problema muy importante en el suelo de fundación.



Figura 5



Figura 6

### 3.1. Cuadros fisurativos

Las fisuras o grietas en un elemento (muro, tabique, viga, etc.), se producen por la aparición de esfuerzos de tracción que superan la resistencia del material que compone dicho elemento.

Si, por ejemplo, se toma un muro o tabique y se distorsiona el mismo (figura 7), se aprecia que aparecen esfuerzos de compresión por el acortamiento de una de sus diagonales y, perpendiculares a estos, esfuerzos de tracción por el alargamiento de la otra diagonal.

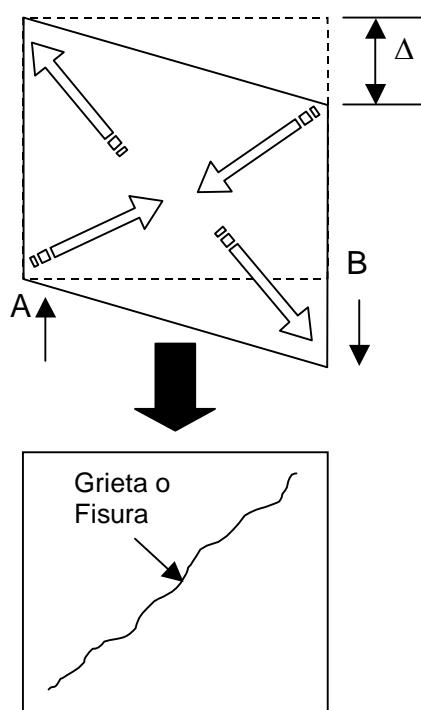


Figura 7

Esta distorsión puede deberse tanto a un descenso del punto B como a un levantamiento del punto A. La grieta se produce, en general, siguiendo ángulos de aproximadamente 45 grados con la vertical.

Si el material constitutivo es homogéneo y el muro no tiene aberturas, las fisuras forman líneas más o menos continuas, mientras que en los materiales compuestos (p.ej. mamposterías), o en muros con aberturas (figura 8), este agrietamiento se produce siguiendo las líneas de menor resistencia o afectando las aberturas involucradas.

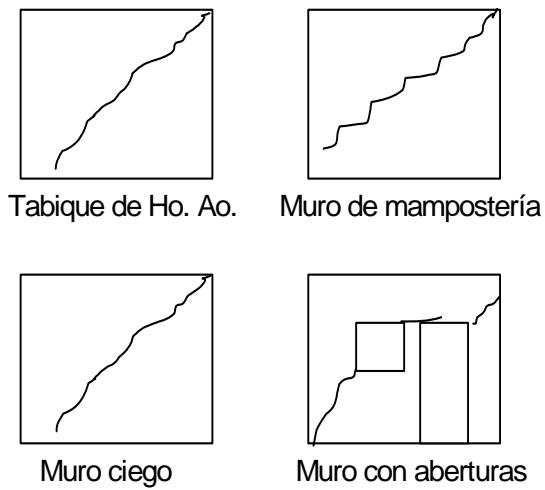


Figura 8

Si bien se ha dicho que los cuadros fisurativos son similares, ya sea que la distorsión se produzca por descensos o ascensos de la estructura, en ambas situaciones los mismos no son iguales.

Las grietas seguirán patrones relativamente diferentes de acuerdo al tipo de movimiento producido en la construcción.

En la figura 9, se han indicado algunas de estas situaciones.

En los casos a) y b) de dicha figura las grietas se producen por sendos levantamientos del muro, mientras que en los casos c) y d), las grietas aparecen por hundimientos del mismo.

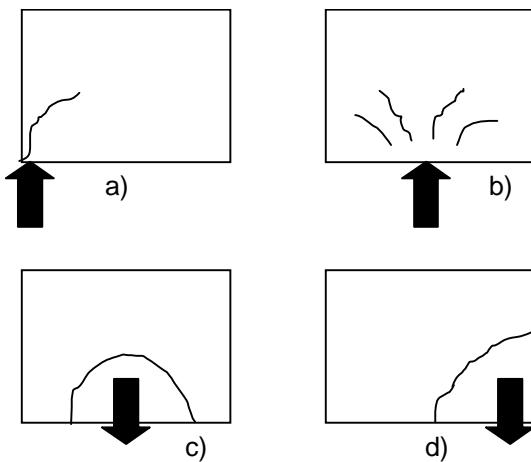


Figura 9

En el caso de estructuras aporticadas las grietas también se producen por la aparición de esfuerzos de tracción. La diferencia que en el caso de muros los agrietamientos de las vigas aparecen en distintos puntos de acuerdo al movimiento relativo de las columnas. En la figura 10, se aprecian estas situaciones.

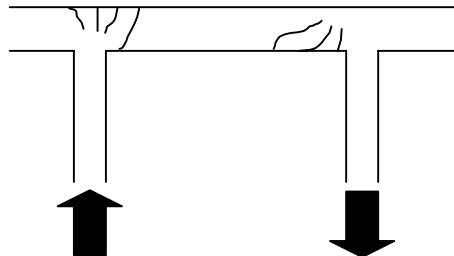


Figura 10

### 3.2. Levantamientos y hundimientos

Estos síntomas se aprecian en los pisos o techos y pueden formar agrietamientos en los mismos, siguiendo curvas de nivel con pendiente hacia el foco del problema.

Si la magnitud de los mismos no es apreciable a simple vista, estos se detectan dejando correr sobre el suelo una bola o arrojando un hilo de agua. Tanto la bola como el agua se dirigirán hacia la parte de mayor hundimiento o hacia el sector menos levantado.

En general estos hundimientos o levantamientos están asociados a los cuadros fisurativos ya descriptos que confirmarán las hipótesis respecto de su génesis.

### 3.3. Distorsiones y giros

En el caso de aberturas los movimientos de las fundaciones, provocan distorsiones angulares en los marcos en general, no acompañados por deformaciones iguales en las puertas y ventanas. Esta situación trae aparejados problemas en la apertura y cierre de las mismas. En este caso, las distorsiones también están acompañadas por cuadros fisurativos en la edificación.

En el caso de elementos esbeltos, como son tanques o torres, la situación más común es el giro. Estos giros no están acompañados necesariamente de agrietamientos o fisuras.

## 4. METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN

Ante una situación que pueda ser considerada como una patología debida a las cimentaciones, es conveniente que el profesional siga cierta metodología para mejor proveer a la detección de las causas y sus posibles soluciones.

Sin pretender ser abarcativo, de todas las mediadas a tomar se indica a continuación, un posible programa de intervención en estas situaciones.

En general la metodología de trabajo más usual en estos casos comprende los siguientes aspectos:

- a) Relevamiento de daños y síntomas.
- b) Recopilación de antecedentes.
- c) Medición y seguimiento de los síntomas.
- d) Verificación del estado de los cimientos y del suelo.
- e) Determinación de la o las posibles causas de la patología.
- f) Disponer las medidas de acción en cada caso.

### 4.1. Relevamiento de daños y síntomas

Por relevamiento de los síntomas se entiende, la determinación de la magnitud y posición de los mismos. Esta actuación, además de brindar un cuadro de situación, permitirá a futuro planificar los seguimientos para evaluar la eficacia de las acciones adoptadas.

El relevamiento consta plantas y vistas de la obra, graficando en las mismas los daños detectados.

Resulta conveniente designar los diversos muros con números consecutivos de modo tal de distinguirlos fácilmente.

En las vistas, es necesario adoptar un sentido de observación y mantenerlo en todo el relevamiento, y de tal modo poder describir adecuadamente el problema (figura 9).

Este sentido de observación puede ser siempre observar de adentro hacia afuera o en sentido Norte y Oeste, por ejemplo, u otro que resulte el más adecuado para aplicar a todos los muros.

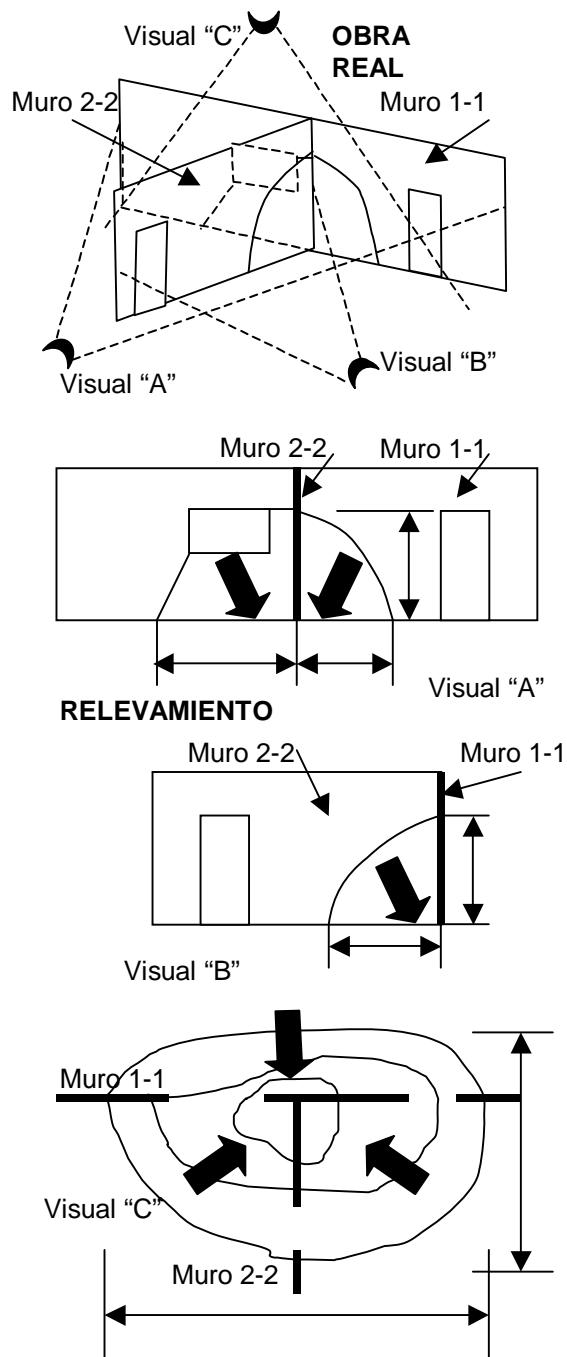


Figura 11

En la figura 11, se muestran las vistas y planta relevadas con sus correspondientes cotas y flechas indicando el sentido de los hundimientos.

Esta forma de graficación ayuda a poner en claro la ubicación de los posibles focos del problema.

Para detectar el foco, puede recurirse al sencillo expediente de asimilar las líneas de fisuras a sectores de circunferencias. En tal situación los radios de las circunferencias (flechas en la figura 11), señalan el posible foco del problema.

#### 4.2. Recopilación de antecedentes

Es de sumo interés recopilar la mayor cantidad de antecedentes de la obra en cuestión y del suelo del lugar.

Es necesario conocer la o las fechas de construcción y sucesivas modificaciones, la cota y tipo de fundación, la ubicación de las instalaciones sanitarias, la cronología de la sintomatología detectada, las características de las viviendas vecinas, la existencia de cañerías de servicios externas, y cualquier otro dato de interés que pueda aportar el propietario o usuario de la edificación.

Si estos datos no estuviesen disponibles el profesional interviniente deberá proceder a su investigación particular.

#### 4.3. Medición y seguimiento de los síntomas

Es preciso medir la abertura de las fisuras, su longitud y cantidad, así como la magnitud de los asentamientos, siguiendo en ambos casos su evolución a lo largo del tiempo.

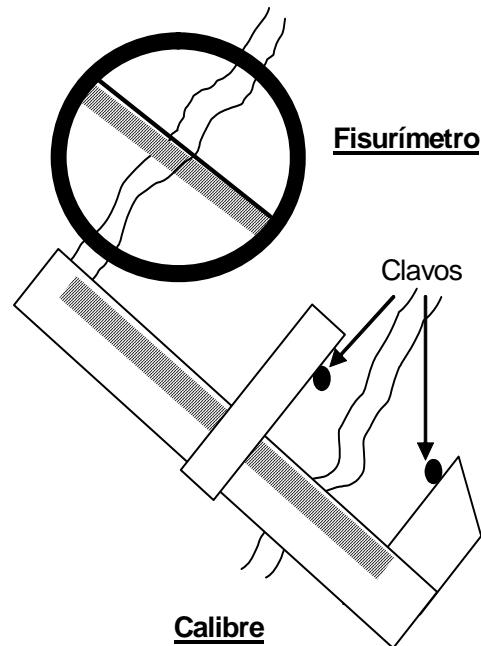


Figura 12

Para medir las fisuras (figura 12), puede emplearse un fisurímetro, del mismo tipo que se emplea para estudiar daños en materiales estructurales o bien calibres y reglas (figura 13) en función de su magnitud.



Figura 13

Con estos aparatos se miden las fisuras a intervalos de tiempo establecidos y se pueden graficar como se indica en la figura 14.

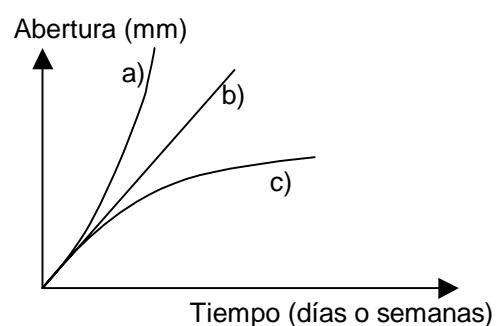


Figura 14

En dicha figura, las líneas a) y b), muestran fisuras, que crecen con el tiempo, es decir que no se han estabilizado, mientras que la línea c) es típica de una fisura que tiende a estabilizarse.

Esta representación es la que permitirá establecer si son necesarias medidas correctivas y si las medidas adoptadas han sido efectivas.

Si no se realizan estas mediciones pueden colocarse testigos de yeso sobre las fisuras (figura 15). Para ejecutar estos testigos se coloca una fina capa de yeso sobre la grieta, previo retiro de la pintura y del revoque dañado.

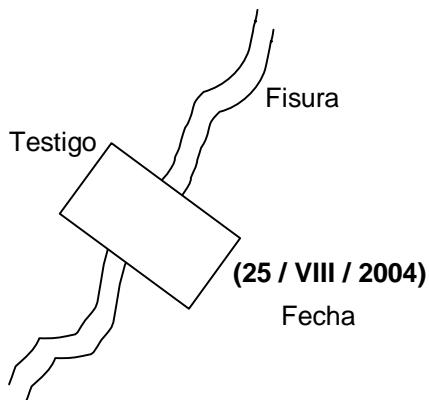


Figura 15

Al lado del testigo se escribe, sobre el muro, la fecha de colocación. A intervalos de tiempo predeterminados se revisará el mismo, comprobando si ha vuelto a abrir la fisura. Si ha ocurrido esto, se retira el testigo dañado, se coloca uno nuevo y se escribe la nueva fecha.

Se repite esta tarea hasta verificar la estabilización de la grieta y si ello no se produce en un plazo razonable de tiempo se procederá a tomar medidas tales como refuerzos o recalces.

En el caso de hundimientos, distorsiones o giros, los mismos se miden mediante nivelaciones respecto de algún punto fijo o empleando plomadas referidas a líneas de verticalidad comprobada.

Al igual que en el caso de testigos, estas mediciones se realizarán a intervalos de tiempo prefijados y se verificará si los hundimientos o giros se mantienen o acentúan con el paso del tiempo.

#### 4.4. Verificación de cimientos, suelo e instalaciones

Otra tarea a realizar es la inspección de la condición en la que se encuentra el suelo, las dimensiones y características de las fundaciones existentes y el eventual deterioro de las instalaciones de la edificación, en especial los desagües cloacales y pluviales.

El sector a investigar será el que surge como posible foco del problema, en función del cuadro fisurativo relevado.

Se procederá a descubrir el cimiento, comprobando el estado del mismo y se tomarán muestras del suelo subyacente, comprobando su tenor de humedad y demás características necesarias para su identificación. De ser necesario se realizará un estudio geotécnico para determinar el perfil de suelos en el lugar.

Mediante pruebas hidráulicas se comprobará la estanqueidad de las cañerías de desagüe del edificio. Las pruebas se efectuarán aplicando al menos 1,00 metro de carga hidráulica, aún para las cañerías que supuestamente no trabajarán en esa condición.

Esta situación magnificará las perdidas existentes, permitiendo su segura detección, y por otra parte al existir obstrucciones o situaciones extremas es posible que también esas instalaciones trabajen bajo carga.

Es conveniente que las pruebas sean realizadas bajo la supervisión del profesional, para no dejar librado a personal no calificado la interpretación de los resultados.

#### 4.5. Determinación de las causas

Luego de cumplidos todos los pasos anteriormente descriptos es posible establecer una o varias causas que generaron la patología detectada, así como la necesidad y eventual urgencia de una intervención más importante.

Las causas pueden ser buscadas entre las enunciadas en el listado de problemas más frecuentes o bien establecidas particularmente en cada caso cuando la problemática así lo aconseje.

#### 4.6. Medidas de acción

Establecidas las causas, es necesario actuar sobre ellas, así como sobre los síntomas por ellas provocados. Para ello deberán aplicarse medidas correctivas las que pueden sintetizarse en:

- Medidas de urgencia
- Recalces y refuerzos
- Corrección de daños

**Medidas de urgencia:** Dentro de estas pueden citarse la eliminación de las causas, el eventual apuntalamiento o refuerzo provisorio de la estructura, y de ser necesario el desalojo de la edificación. Para actuar sobre las causas puede procederse a cambiar cañerías, proteger las fundaciones, eliminar las fuentes de acciones dinámicas, etc



Figura 16



Figura 17

El apuntalamiento (figuras 16 y 17) debe realizarse luego de establecer fehacientemente la inestabilidad de una parte o toda la estructura o que los daños pueden progresar peligrosamente, y se ejecutará con la premura del caso empleando materiales acordes a ese fin, en cantidad y resistencia suficiente. La eventual desocupación del inmueble, es una medida extrema, y se decide cuando existe peligro de colapso en forma inminente o a lo largo del tiempo, y cuando las medidas de apuntalamiento no garanticen las vidas y los bienes de los ocupantes.

**Recalces y refuerzos:** Estos se emplean como medida definitiva para restituir a las fundaciones, y por ende a la estructura en general, las condiciones de estabilidad originales. Los recalces se realizan mediante técnicas específicas a cada problema y tipo de fundación y serán tratados por separado.

**Corrección de síntomas:** Los daños descriptos anteriormente, en general, no son aceptados por el propietario u ocupante del edificio, por lo que será menester proceder a su reparación. Estas tareas pueden circunscribirse sólo a reponer pisos revoques, y pinturas, o bien a tareas de mayor importancia como ser reparar y reforzar los muros, tabiques, columnas y vigas, y volver a nivelar la edificación. Para tomar la decisión de cual intervención realizar es necesario contemplar, el costo, envergadura, uso, e importancia de la obra y magnitud de los daños. Para viviendas unifamiliares, relativamente económicas, en general, es suficiente con reparar los revoques y pisos, y adicionalmente acuñar las grietas mediante flejes metálicos introducidos en las mismas a presión. El empleo de trabas o ganchos metálicos (llaves), resulta contraproducente ya que su colocación implica dañar aún más al muro y al deformarse para tomar carga, su eficacia es cuestionable. Por el contrario en el caso de edificios residenciales o industriales, con daños en la estructura de hormigón armado, es absolutamente necesario proceder a reforzar la misma, mediante zunchados, colocación de refuerzo metálico y eventualmente proceder a verticalizar la edificación, antes de revocar, reparar pisos y pintar la obra.

## 5. REFUERZOS, SUBMURACIONES Y RECALCES

Con esta designación se engloban todas las tareas a ejecutar por debajo de los cimientos existentes, tendientes a su refuerzo, luego de haber fallado, por alguna de las causas ya indicadas anteriormente. Se pueden distinguir los siguientes tipos de tareas de refuerzo:

- a) Refuerzo o mejoramiento del suelo.
- b) Submuraciones.
- c) Recalce de bases.

En muchas de las soluciones indicadas para los puntos b) y c), es preciso construir una nueva fundación, lo que implica que las cargas actuantes deberán ser

transferidas a las nuevas cimentaciones, garantizando una mínima deformación adicional al entrar en carga los nuevos elementos.

### 5.1. Refuerzo o mejoramiento del suelo

Las alternativas pueden ser:

- Inyecciones
- Cementación a chorro (Jet grouting)
- Acciones térmicas
- Suelo clavado (soil nailing)
- Extracción de suelo

#### Inyecciones:

Las inyecciones consisten en introducir algún fluido, dentro de los espacios intergranulares del suelo. Ese fluido deberá tener características tales que le permitan ingresar en dichos intersticios (tamaño de partículas, viscosidad, etc.) y además que produzca la mejora deseada en el suelo.

Estas inyecciones se realizan mediante caños, que poseen orificios de inyección (figura 18).

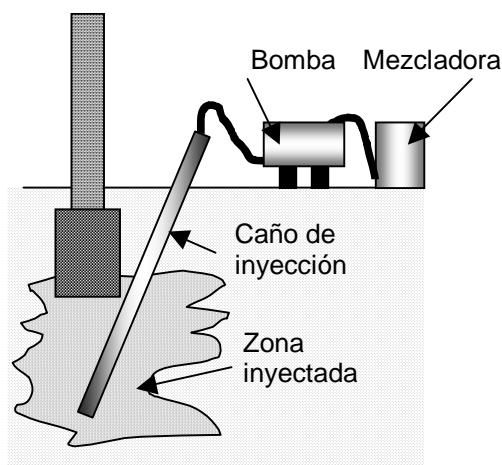


Figura 18

En general los fluidos a inyectar son suspensiones de cemento (lechada cementicia), suspensiones de arcillas (bentonita), emulsiones bituminosas, gel (sílice) y resinas (acrílicas o fenólicas).

Las inyecciones de lechada de cemento se aplican en arenas gruesas y gravas, ya que las partículas de cemento son más grandes que los espacios intergranulares para suelos más finos y por ello la inyección no penetrará en ellos.

Las suspensiones de arcillas pueden inyectarse en arenas medianas a gruesas, las emulsiones bituminosas en arenas medias a finas, las de gel, se emplean en arenas finas y limos y las resinas en limos arenosos.

En suelos arcillosos o limo-arcillosos no es factible realizar inyecciones satisfactorias.

En la figura 19 (ref. 6), se esquematiza esta distribución.

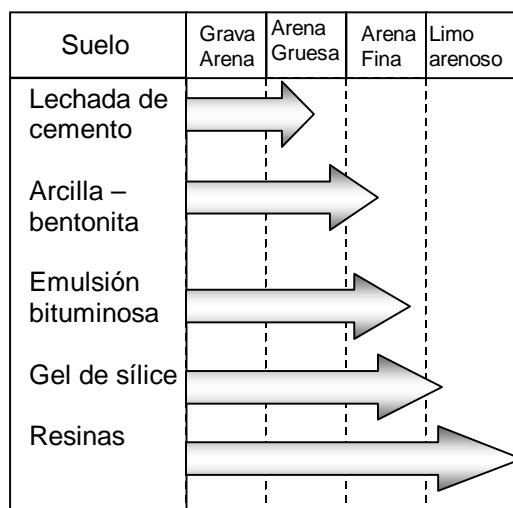


Figura 19

### **Cementación a chorro (Jet grouting)**

Este sistema consiste en introducir una cañería con un pico inyector (tobera), por debajo de la fundación a recalzar, hasta la nueva cota de fundación (figura 20).

Una vez alcanzada esa profundidad se inyecta a través de la tobera inferior un chorro (jet) de lechada cementicia que disagrega el suelo mezclándolo con la lechada y formando suelo-cemento.

A medida que este chorro sale, la cañería se levanta y gira, dando forma a una columna de suelo cemento debajo de la base existente, produciendo su recalce.

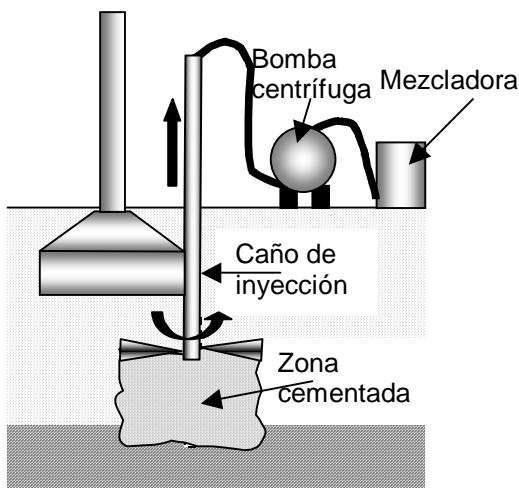


Figura 20

Esta técnica también se emplea para realizar muros de sostenimiento en excavaciones.

### Acciones térmicas

Se introduce un caño en el suelo por el que circulará aire caliente o un fluido refrigerante (figura 21).

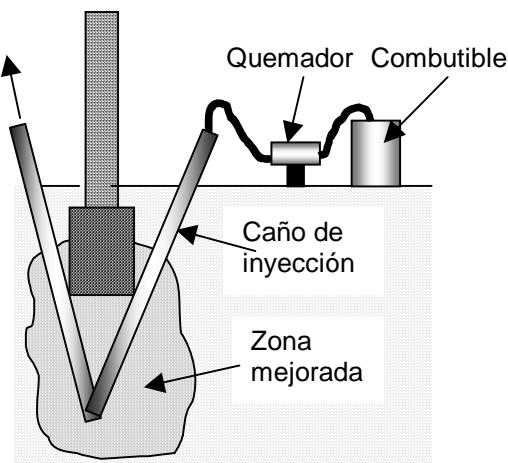


Figura 21

Si, por ejemplo, el suelo es arenoso y está saturado, se hace circular líquido refrigerante a alta presión que al expandirse congela el agua ubicada en los intersticios del suelo. Esto rigidiza el suelo y por lo tanto disminuye los asentamientos, o bien funciona como un muro de sostenimiento provisional.

Por el contrario si se trata de suelos limosos o arcillosos muy humedecidos (p. Ej. limos colapsables), se hace circular aire muy caliente. Esta situación se mantiene durante días o semanas y el suelo se cocina formando una especie de “gran ladrillo”, que recalza la fundación existente.

La cocción de suelos se empleó con éxito en nuestro país en algunas estaciones de bombeo del gasoducto Centro-Norte (ref. 8).

### **Suelo clavado**

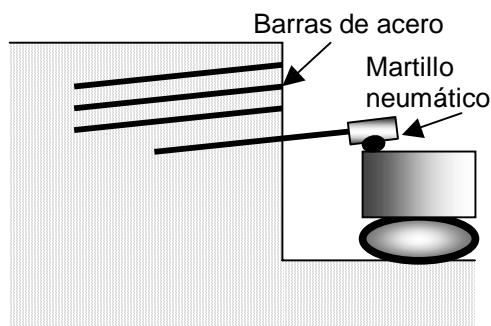


Figura 22

En el caso de excavaciones de gran tamaño, como la indicada en la figura 22, se puede emplear la técnica de introducir barras de acero en el suelo. Esto conforma un suelo reforzado (soil nailing), en forma análoga a lo que ocurre en el hormigón armado. Estas barras se colocan a media que la excavación avanza en profundidad.

De este modo se estabiliza la pared de la excavación y no se producen asentamientos en las estructuras vecinas o se refuerza el suelo bajo una fundación existente, si la misma se asentó por la ejecución de la excavación.

### **Extracción de suelo**

Si una estructura esbelta se ha asentado hacia un lado, provocando un giro, ello implica que el suelo bajo la fundación ha disminuido su volumen. Para disminuir o eliminar ese giro, puede extraerse parte del suelo en el lado opuesto, provocando un asentamiento que equilibre al anterior.

Esta solución se ha empleado en la Iglesia Catedral de la ciudad de México y últimamente ha sido utilizada para disminuir la inclinación de la Torre de Pisa (Italia), ambas con gran suceso. En la figura 23, se esquematiza esta técnica.

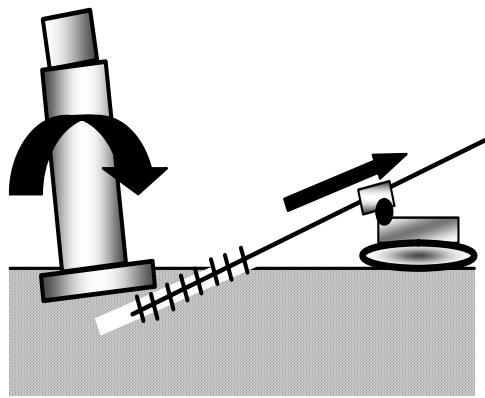


Figura 23

## 5.2. Submisiones

Como su nombre lo indica es el refuerzo de muros, mediante:

- Muros o tabiques
- Pozos de fundación
- Pilotes “raíz”

### Mediante muros y tabiques

Consiste en construir un muro de mampostería o un tabique de hormigón debajo de un muro existente. Este nuevo muro o tabique, debe llegar hasta apoyar en un suelo más resistente. Para acceder debajo del muro debe excavarse lateralmente y por etapas, por lo tanto es muy empleado cuando se construyen subsuelos adyacentes a un edificio existente (figura 24).

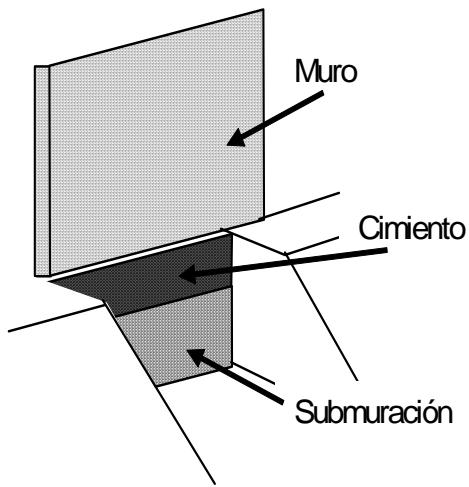


Figura 24

Las excavaciones laterales hasta llegar al cimiento del muro, se hacen por tramos de no más de 2,00 metros de ancho. Se excava tramo de por medio y una vez submisionados estos, se ejecutan los tramos intermedios hasta completar todo el largo del cimiento.

### **Submurmación mediante pozos de fundación**

Zona humedecida

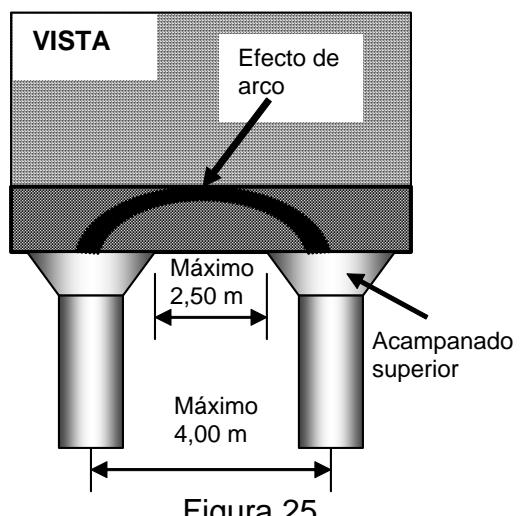
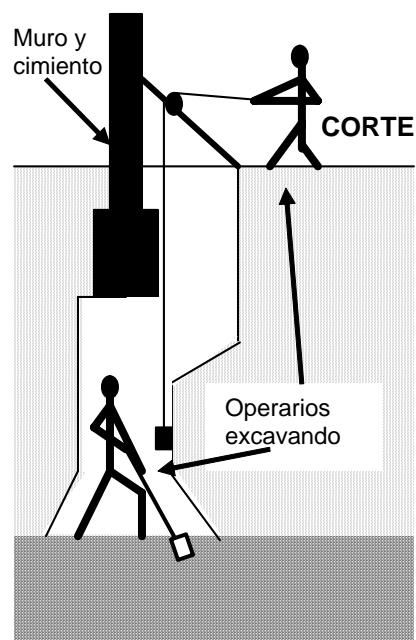
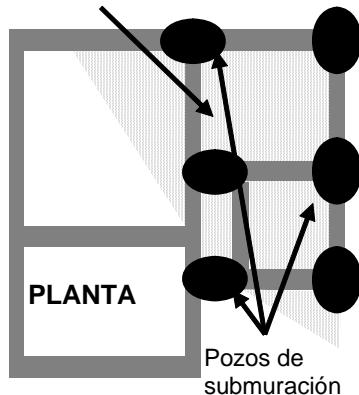


Figura 25

Esta submacción es la más común en nuestro medio, ya que los suelos loessicos, permiten la excavación a talud vertical, hasta grandes profundidades sin necesidad de entibados, si la misma se ejecuta en forma de pozo (figura 25).

Como se aprecia en la planta y la vista graficadas en la figura 20, cada uno de estos pozos se ubica en la intersección de los muros, a una distancia máxima de 4,00 metros. En la parte superior de cada pozo se ejecuta un ensanche de modo que la luz libre tenga un máximo de 2,50 metros, con ello se aprovecha el efecto de arco en el cimiento del muro y se evitar la colocación de vigas inferiores.

Como se aprecia en el corte de la misma figura los pozos se excavan a mano y pueden llevar un ensanche inferior.

Una vez realizada la excavación hasta alcanzar el terreno resistente, se procede al llenado de los pozos con hormigón. Este se realiza hasta llegar por encima del nivel de cimiento, para garantizar el contacto entre el hormigón nuevo y la fundación existente.

Para minimizar las deformaciones por transferencia de carga, se puede realizar el llenado en dos etapas. La primera hasta 50 cm por debajo del cimiento con un hormigón muy fluido, y la segunda hasta el nivel superior del cimiento con un hormigón aditivado para evitar la retracción.

### **Pilotes “raíz”**

Esta técnica es muy utilizada en Europa en especial para restaurar edificios históricos. En nuestro país también se la ha empleado en diversas obras. Consiste en perforar el muro y el cimiento con una mecha de 2,5 a 5,0 cm de diámetro desde las dos caras del muro. Las perforaciones se realizan inclinadas respecto de la vertical y a trespabillo. En la figura 26, se esquematiza el procedimiento.

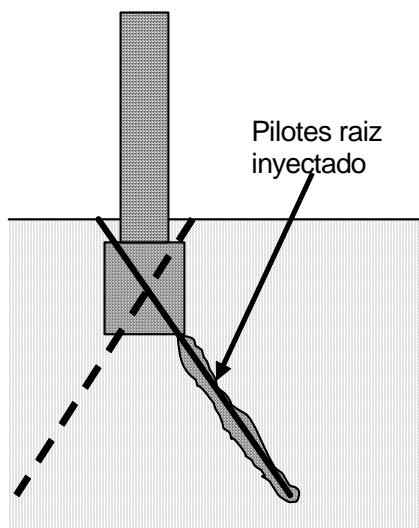


Figura 26

Una vez finalizada la perforación se introduce una barra de acero de alta resistencia y se inyecta con lechada cementicia el espacio entre la barra y el suelo.

De este modo se logra un refuerzo del suelo en forma similar al suelo clavado ya descrito.

La cantidad, profundidad y separación de los pilotes “raíz”, es función de la carga, del tipo de suelo y la calidad de la mampostería y el cimiento existente.

### 5.3. Recalces de bases

Este tipo de refuerzos se emplea en general para fundaciones de estructuras de hormigón armado, siendo los más comunes:

- Recalce por recrecido de la base.
- Recalce por pozos de fundación.
- Recalce mediante micropilotes.

#### Recalce por recrecido de bases

Esta solución se aplica cuando el suelo resistente se encuentra a poca profundidad (menos de 1,00 metro) por debajo de la base o cuando la base se apoya sobre suelo resistente pero sus dimensiones son insuficientes para tomar las acciones de proyecto, ya sea por error en su diseño o por haber cambiado las condiciones de carga.

Se excava lateralmente y por debajo de la base, de un lado por vez. La excavación lateral debe tener las dimensiones de la nueva base. En la figura 27, se esquematiza esta solución.

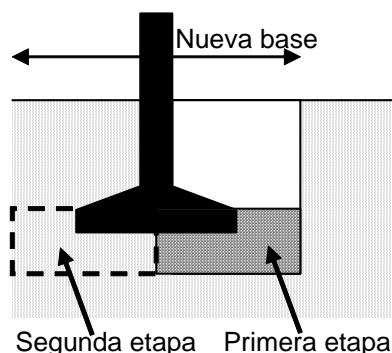


Figura 27

De ser necesario se puede picar parcialmente la base a reforzar y descubrir sus armaduras, para soldarlas con las de la base recrecida. Por razones de seguridad, para su ejecución se requiere el apuntalamiento de la estructura existente.

### **Recalce por pozos de fundación**

Este refuerzo es similar al indicado para la submurmación y se usa fundamentalmente cuando la nueva cota de fundación se encuentra muy por debajo de la base existente. Tradicionalmente ha sido empleado con gran asiduidad en nuestro medio por las características de los suelos locales.

Consiste en excavar lateralmente a la base un pozo cilíndrico que se introduce por debajo de la misma y se excava hasta alcanzar el manto resistente inferior (figura 28).

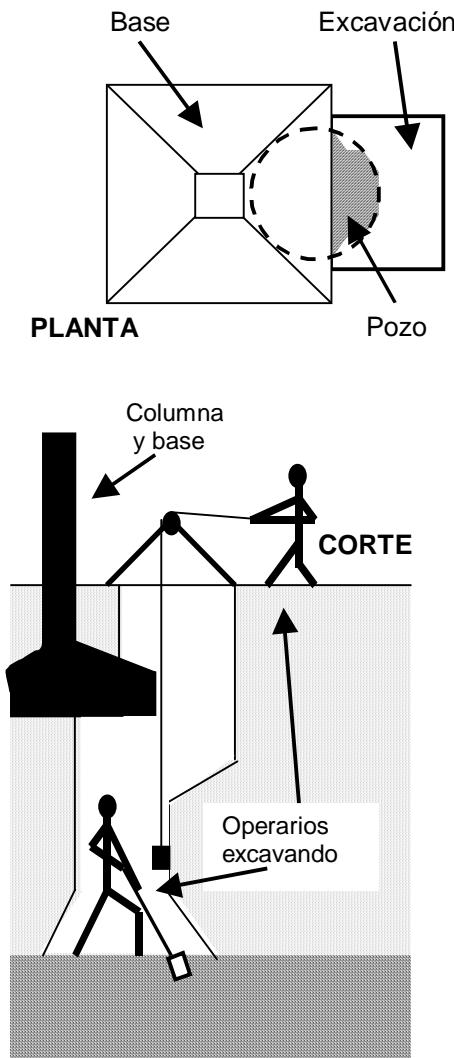


Figura 28

La forma de excavación y llenado del pozo es análoga a la indicada para la submurmuración mediante pozos de fundación.

### **Recalce mediante micropilotes**

Este recalce consiste en reforzar una fundación existente mediante el empleo de pilotes de pequeño diámetro.

Una primera división se da en la forma que los micropilotes se unen a la estructura. Esta división se esquematiza en la figura 29:

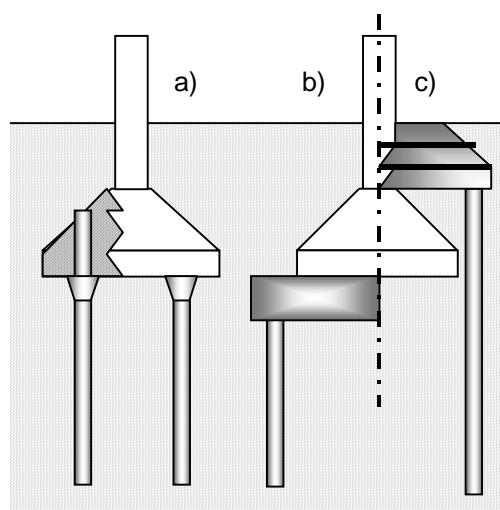


Figura 29

- a) Micropilotes que se unen directamente a la fundación existente.
- b) Micropilotes que se unen indirectamente a la fundación existente.

En el caso a), la transferencia de carga se realiza directamente por adherencia entre el micropilote y la fundación, eventualmente con la colaboración de algún ensanche bajo la misma.

La segunda situación, precisa de la ejecución de una estructura de transferencia, como ser vigas inferiores, (b), o abrazaderas laterales pretensadas, (c).

El diámetro de los micropilotes oscila entre 10 y 30 cm, y están construidos en general de hormigón armado o acero.

De acuerdo a la forma de colocación pueden dividirse en, excavados y hormigonados in situ, hincados estáticamente, e hincados dinámicamente.

### ***Micropilotes excavados y hormigonados in situ:***

Estos micropilotes se construyen como los pilotes del mismo tipo, aplicando las técnicas descriptas en el capítulo de fundaciones profundas de este libro (figura 30).

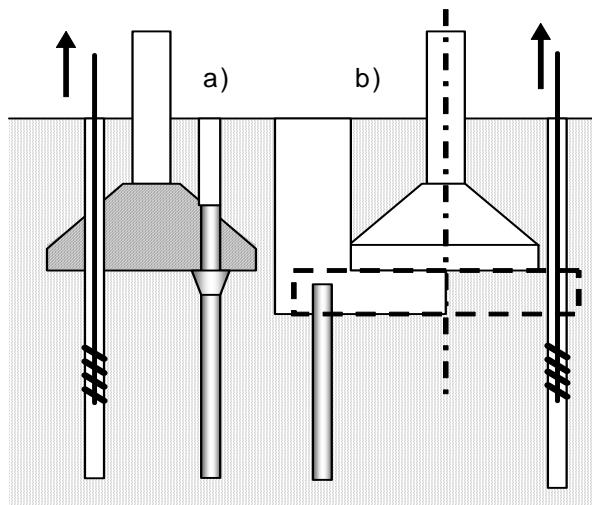


Figura 30

En el caso a), se excava el suelo hasta la base y luego se perfora la misma con corona de diamantes. En ese punto se continúa la excavación (con o sin empleo de lodos bentoníticos) hasta alcanzar el suelo resistente inferior. Mediante un útil especial se realiza un ensanche bajo la base, se coloca la armadura, que pueden ser hierros convencionales con estribos o un caño de acero y se llena de hormigón o se inyecta mortero a presión llenando el micropilote por encima del nivel superior de la base.

En el caso b) se perfora hasta la nueva cota de fundación, y se hormigona el micropilote con las técnicas ya descriptas, hasta un nivel por debajo de la base existente. A posteriori se realiza un excavación lateral de la base y se construye o coloca una viga que puede ser de hormigón armado o metálica. Esta técnica es más complicada que la anterior y menos efectiva.

### ***Micropilotes hincados estáticamente:***

Estos micropilotes fueron diseñados originalmente por la firma FRANKI, denominados pilotes MEGA.

La figura 31, muestra las fases constructivas del mismo.

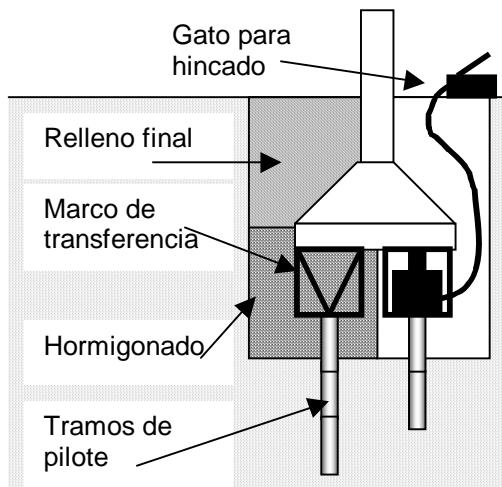


Figura 31

Se excava lateralmente y por debajo de la base en forma parcial, dejando un espacio para introducir el gato y un tramo de pilote.

Accionando el gato contra la base existente se hincan sucesivamente los tramos de pilote hasta alcanzar el rechazo. En ese punto en lugar de penetrar el pilote comienza a levantarse la base. Al producirse el rechazo se extrae el gato, se coloca un marco metálico para transferencia de carga, en lugar del gato y se hormigona el espacio que rodea al pilote hasta un nivel ligeramente superior al fondo de la base. A posteriori, se repite la operación hasta colocar todos los pilotes necesarios, simétricamente distribuidos bajo la base.

#### ***Micropilotes hincados dinámicamente:***

Se trata de una técnica cada vez más empleada en nuestro medio. Internacionalmente se los conoce como tipo "Stubb".

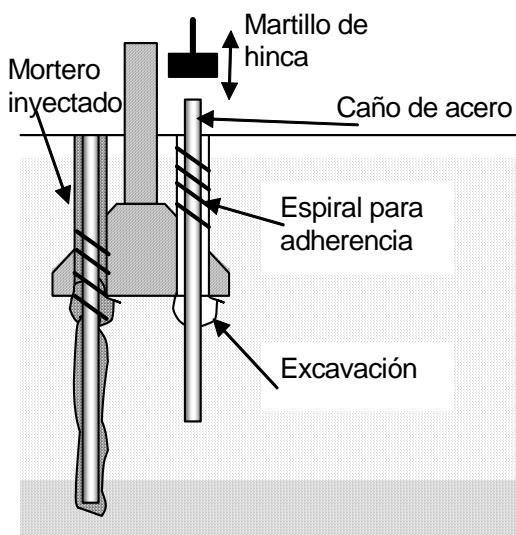


Figura 32

Consiste en colocar un caño mediante hinca, a través de la fundación existente (figura 32).

El primer paso consiste en realizar una excavación hasta la base, perforar ésta con corona de diamante y luego, eventualmente, excavar un ensanche bajo la misma.

A través de la perforación, se hinca un caño en el suelo hasta el rechazo. El caño, de acero de alta resistencia, tiene un diámetro de entre 70 y 100 mm, con perforaciones para inyección. En el mismo se halla soldado un zuncho de hierro redondo, en coincidencia con la zona de vinculación con la base, para garantizar la adherencia a la misma.

Una vez colocado el caño, se procede a la inyección de mortero cementicio a alta presión, con lo cual se llena el caño, se ocupa el espacio entre el caño y la excavación, y parte de la lechada penetra en el suelo circundante mejorando la adherencia lateral.

Los métodos indicados son sólo algunos y en sus esquemas más simples. En la práctica profesional y ante un problema determinado puede recurrirse a variantes o combinaciones de los mismos. El estudio de todos ellos escapa a los alcances de este libro.

## 6. RESUMEN DEL CAPITULO

A modo de resumen puede decirse que:

- En todo problema de patologías en las construcciones, debidas a las fundaciones pueden distinguirse, síntomas y causas.
- Los síntomas son grietas, asentamientos, distorsiones, giros, etc.
- Las causas pueden ser atribuidas al suelo (colapso, expansión, consolidación, licuación, etc.), a la fundación (defectos constructivos, dimensiones insuficientes, interacción, etc.) o a agentes externos (sismos, sobrecargas, variaciones del nivel freático, etc.).
- Determinados estos síntomas y causas debe diagnosticarse el problema, y realizar un seguimiento de su evolución para decidir las medidas a tomar.
- Estas medidas siempre deben comenzar por eliminar la causa y seguir con los tratamientos de los síntomas y de ser necesario se deben realizar acciones a nivel de la cimentación.
- Estas acciones pueden ser, el mejoramiento del suelo existente, la submuración de muros o tabiques o el recalce de bases o fundaciones.
- El mejoramiento de suelos, consiste entre otras técnicas en inyecciones, cementaciones, accio-nes térmicas o introducción de refuerzos.
- Las submuraciones pueden realizarse mediante muros y tabiques, pozos de fundación o pilotes raíz, etc.

- Los refuerzos de fundaciones, se realizan mediante recrcedos de bases, pozos de fundación, micropilotes, etc.
- Existen diversas técnicas en cada caso, las que deberán ser evaluadas en cada oportunidad.

## 7. CONCLUSIONES

Las patologías de las cimentaciones son, en nuestro medio, uno de los problemas más comunes dentro del accionar profesional de las obras de arquitectura, en general debido a problemas con los suelos locales (colapsables).

La intervención del profesional es la que garantiza que se detecten las causas y que se establezca una metodología de intervención, para que los síntomas no se agudicen, y el problema provoque serios daños e incluso el colapso de la edificación.

En cada caso y ante problemas específicos, el profesional deberá decidir las acciones a efectuar para lograr un resultado acorde con la problemática detectada.

## 8. REFERENCIAS

1. Cátedra de Geotecnia III- Apunte Teórico Práctico" - U.N.C. – 2000
2. Jiménez Salas J. A. "Geotecnia y Cimientos III", ed. Rueda, 1980
3. Cestelli Guidi, C. "Geotecnia e Técnica delle fondazioni", ed. Hoepli, 1980
4. Hachich, W. et al editores "Fundacoes teoría e práctica" - Ed. Pini - 1999
5. Fang, H. "Foundation Engineering Handbook", ed. Van Nostrand-Reynolds, 1990
6. Rodríguez Ortiz, J. M. "Curso de Rehabilitación-La cimentación", COAM, Madrid, 1983
7. Terzariol, R, et al. "Recalce de un edificio de 10 pisos, en la ciudad de Córdoba, Argentina", Memorias del 2 COPAINGE, Asunción, Paraguay, 2003
8. Núñez, E. – Conversaciones con el autor, 1997