

Universidad Politécnica de Cartagena

Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación

GRADO EN INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

EJECUCIÓN DE MICROPILOTES EN RECALCE DE CIMENTACIONES

Alumno: Raúl Lorente Fernández.

Dtor. Académico: José Ramón Díez de Revenga Albacete.

Septiembre de 2013



Universidad
Politécnica
de Cartagena



ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Prologo	6
1.2. Generalidades de los Micropilotes	12
1.3. Ventajas de los Micropilotes	13
2. NORMATIVA	17
2.1 Normativa específica.....	17
2.2 Normativa de referencia.....	18
2.3 Reglamentos	21
3. TIPOS DE MICROPILOTES. MATERIALES Y PRODUCTOS	24
3.1 Definición, aplicaciones y clasificación	24
3.1.1 Definición.....	24
3.1.2 Principales aplicaciones	25
3.1.3 Clasificación	28
3.1.3.1 Clasificación por el sistema de perforación	28
3.1.3.2 Clasificación por el sistema de inyección	34
3.1.4 Idoneidad de cada tipo de micropilote	39
3.2 Materiales y productos constituyentes de los micropilotes	40
3.2.1 Aceros	40
3.2.2 Lechadas y morteros de cemento.....	44
3.2.2.1 Lechadas de cemento.....	45
3.2.2.2 Morteros de cemento	46
3.3 Protección contra la corrosión.....	47
4. ANALISIS DEL PROYECTO	50
4.1. Memoria.....	51
4.2. Pliego de condiciones	52
4.3. Planos.....	53
4.4. Presupuesto	53
4.5. Lista de análisis del proyecto	54

5. ANALISIS DEL EDIFICIO Y DE SUS COLINDANTES	59
5.1 Estudios previos a realizar antes de comenzar los trabajos de recalce	58
5.2 Fallos más frecuentes en cimentaciones	59
5.2.1 Asientos.....	60
5.2.2 Sintomatología de asientos.....	64
5.2.3 Causas más frecuentes de fallos en cimentaciones.....	67
5.3 Colocación y control de testigos de asentamiento del edificio afectado y de sus Colindantes	78
5.3.1 Determinación de la ubicación y magnitud de la fisuración	78
5.3.2 Selección de los procedimientos de reparación	85
 6. EJECUCIÓN DE LOS MICROPILOTES	 78
6.1 Operaciones	88
6.2 Perforación del taladro del micropilote.....	90
6.2.1 Diámetros y profundidades	90
6.2.2 Maquinaria.....	92
6.2.3 Sistemas de perforación	94
6.2.4 Tolerancias geométricas de perforación.....	104
6.3 Colocación de la armadura	105
6.4 Inyección del micropilote	106
6.4.1 Objetivos	106
6.4.2 Maquinaria de inyección	106
6.4.3 Tipos de inyecciones.....	107
6.4.4 Proceso de inyección	111
6.4.5 Control de ejecución.....	111
6.5 Ejecución de micropilotes de eje no vertical	112
6.5.1 Micropilotes inclinados	112
6.5.2 micropilotes horizontales o en contrapendiente.....	112
6.6 Conexión de los micropilotes con la estructura.....	113
6.7 Protocolo de ejecución y Partes de trabajo.....	123
6.7.1 Protocolo de ejecución	123
6.7.2 Partes de trabajo	125
 7. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL	 128
7.1 Objetivo	128
7.2 Control de recepción de materiales	128
7.2.1 Armadura tubular.....	128
7.2.2 Barras de acero corrugado	131

7.2.3	Cemento	134
7.2.4	Hormigón	140
7.3	Control de ejecución.....	148
7.3.1	Control de la perforación y colocación de la armadura.....	148
7.3.2	Control de la fabricación de la lechada o mortero y del proceso de inyección.....	148
7.3.3	Partes de trabajo	149
7.4	Pruebas de carga	153
7.4.1	Ejemplo prueba de carga	153
8.	PRINCIPALES ASPECTOS EN LA DIRECCIÓN DE LA EJECUCIÓN	156
8.1	Estudio del proyecto de ejecución	157
8.2	Visita y análisis del edificio a recalzar así como de los edificios colindantes	160
8.3	Estudio de la planificación y ejecución de la obra con el constructor en cumplimiento con el plan de seguridad.....	160
8.4	Realización de trabajos previos a la realización de la obra	162
8.5	Colocación y control de testigos de asentamiento del edificio afectado y de los colindantes	166
8.6	Recepción y control de las máquinas, medios aux. y materiales a utilizar en la obra....	166
8.7	Ejecución de la obra	168
8.7.1	Descubrimiento de los elementos a recalzar (zapatas, muros, terrenos...)	168
8.7.2	Replanteo de la situación de perforación de los micropilotes.....	169
8.7.3	Acceso de la maquinaria, materiales y demás elementos necesarios para la ejecución	170
8.7.4	Realización de los micropilotes.....	173
8.7.5	Control de los materiales a emplear (cemento, ferralla, áridos, agua....)	179
8.7.6	Unión de los micropilotes con la cimentación	181
8.8	Limpieza y restauración de la zona afectada en la obra.....	185
8.9	Seguimiento de los testigos instalados en los meses posteriores a la terminación de la obra.....	186
9.	CRITERIOS DE ORDEN ECONÓMICO	188
10.	SEGURIDAD	193
10.1	Seguridad en la excavación para descubrir la cimentación antigua.....	193
10.2	Seguridad en el acopio y traslado de los materiales	194
10.3	Seguridad en la ejecución de los micropilotes.....	195
10.4	Seguridad en la maquinaria utilizada	196
10.5	Seguridad en medios auxiliares	198

10.6 Sistema de protección colectiva (SPC).....	198
10.7 Equipos de protección individual (EPI)	199
10.8 Servicios de higiene y bienestar	201
10.9 Condiciones técnicas de la maquinaria.....	202
10.10 Condiciones técnicas de la instalación eléctrica.....	204
BIBLIOGRAFÍA	206
ANEXO 1 (EJEMPLO DE RECALCE)	209
ANEXO 2 (DETALLES CONSTRUCTIVOS)	215
ANEXO 3 (DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA)	220
ANEXO 4 (FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA DE PERFORACIÓN)	224

INTRODUCCIÓN



- PRÓLOGO
- GENERALIDADES DE LOS MICROPILOTES
- VENTAJAS DE LOS MICROPILOTES

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PRÓLOGO

SISTEMAS DE RECALCE

En numerosas ocasiones nos encontramos con que el terreno sobre el que está realizada la cimentación existente no ofrece garantías suficientes para su utilización como firme de apoyo. Las causas son muy variadas y entran dentro de los siguientes grupos:

- Incorrecta elección del firme, generalmente producida por falta de información sobre la constitución del terreno en sus estratos inferiores, o también por una excesiva confianza en su capacidad portante.
- Previsión de aumento de cargas en la cimentación por cambios de uso, aumento de plantas, supresión de pilares, etc., que ponen al límite de su capacidad al firme somero.
- Habilitación de sótanos, en el edificio en cuestión o en uno colindante, que obligan necesariamente a la profundización de la cimentación.

Así pues, cuando el firme no satisface las necesidades de la cimentación y la mejora del terreno mediante la inyección no es efectiva, se recurre a transferir las cargas a estratos profundos más competentes. La forma de llevar a cabo estos recalces es básicamente la manual por pozos y la que utiliza pilotes de diversas clases y con variadas técnicas de ejecución según el tipo de terreno y la clase de obra a realizar. En este trabajo veremos la utilización de micropilotes como sistema de recalce en cimentaciones.

Recalces profundos.

- **Pozos profundos:** Profundidades superiores a unos 4 m. En el momento actual se utilizan muy poco por dificultades constructivas y de seguridad.
- **Pilotes:** Problemas de acceso de maquinaria.
- **Micropilotes:** Es el sistema más usado.

TÉCNICA	PRINCIPALES PROBLEMAS
POZOS PROFUNDOS	Construcción difícil. Problemas con suelos blandos. Problemas con el agua.
PILOTES	Problemas de acceso de maquinaria al edificio. Afectan seriamente a los cimientos existentes. Grandes encepados.
MICROPILOTES	Problemas de unión con la cimentación existente. Problemas de transferencia y reparto de cargas. Control cuidadoso de la ejecución.

1.1.1 REPARACIÓN O REFUERZO DEL CIMIENTO

Es posible que el problema se reduzca a una falta de capacidad portante del propio elemento de cimentación, por lo que su simple reparación: bien por reparación, bien por su refuerzo puede hacer posible su recuperación, considerándose como última opción su completa sustitución. Estas operaciones se pueden llevar a cabo, mediante actuaciones de tipo **quirúrgicas** o bien **protésicas**.

a) pueden considerarse **quirúrgicas** las siguientes:

- Cuando se trate de una cimentación degradada de la que ha resultado un conjunto de áridos sueltos que constituyan una zorra de granulometría adecuada, se podría introducir hormigón en masa mediante **inyecciones**.
- Colocación de **vigas de cintura** para zunchar y a su vez consolidar mediante su compresión el cimiento defectuoso. Supone, también como ya veremos, la ampliación de la superficie de trabajo.
- Como última opción podemos prever la **sustitución** completa del elemento de cimentación, mediante la demolición del cimiento existente y construcción de uno nuevo de similares características.

b) La introducción o colocación de elementos externos o internos, **prótesis**, que traben, unan o refuercen el cimiento existente: armaduras, tensores, postensado, etc.

1.1.2 INSUFICIENCIA DEL AREA DE CIMENTACIÓN

Visto que el cimiento está íntegro se considera que la superficie de equilibrio no es suficiente para cumplir la función de cimentación por alguna razón: como un mal dimensionamiento, por deterioro de la base de contacto resultando ser mas reducida de la prevista, por haber aumentado las cargas o cualquier otra causa. Si estamos ante un terreno adecuado debe considerarse la posibilidad de aumentar la referida superficie de cimentación. Generalmente aprovechando la existente y adicionándole nuevas partes cuya unión hay que cuidar de forma que se garantice el trabajo solidario de ambas: bien dándole la forma adecuada, bien incorporando elementos que lo hagan como redondos metálicos o bien aplicando resinas o adhesivos; verificando siempre que los asientos sean admisibles, pudiéndose establecer una limitación empírica de que la anchura total del cimiento resultante esté entre 2 y 3 veces la anchura primitiva.

1.1.3 BÚSQUEDA DE UN MEJOR TERRENO O DE MAYOR CAPACIDAD PORTANTE DEL MISMO

En algunos casos es necesario buscar un estrato de terreno más resistente, bien por incapacidad del que se tiene, bien por tener que disponer sótanos en los edificios manteniéndolos en pie. Tanto en uno como en otro caso tendremos que bajar o trasladar el plano de carga: bien a un nivel ligeramente inferior, bien yendo a gran profundidad.

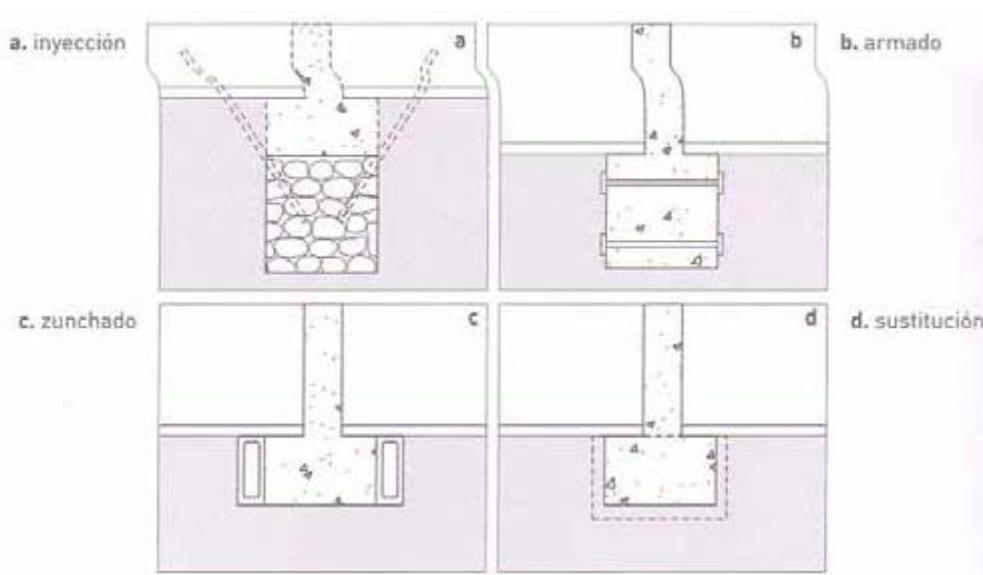
También el hecho de bajar a un cierto nivel va a implicar la adopción de una determinada tecnología, por lo que la diferenciación entre una acción superficial y otra mas profunda no es solo cuestión de cota.

Así un plano de carga próximo al original, generalmente esta relacionado con una ampliación de superficie, aunque la construcción de una o mas plantas de sótano puede considerarse una actuación superficial si el terreno o las condiciones del solar y de las edificaciones contiguas lo permiten.

Sin embargo si tenemos que buscar una capa de terreno resistente a gran profundidad, tendremos siempre que utilizar tecnologías complejas, al menos en su puesta en obra, como ocurre en la construcción de sótanos en condiciones deficientes del terreno o de las edificaciones, como pueden ser las pantallas con sus posibles anclajes y tirantes. Si no es necesario excavar porque es un problema propio de la cimentación que no funciona y hay que ir a gran profundidad, aunque sea desde la superficie, habría que ir a técnicas como el pilotaje o **el micropilotaje**.

Esta técnica está bastante indicada para su uso en actuaciones de restauración y rehabilitación de edificios ya que se realiza con una maquinaria reducida y de poco gálibo de buena capacidad de movimientos dentro de obras tan complejas como lo son aquellas.

En definitiva, se trata de una tecnología muy versátil, tanto en su puesta en obra como en sus prestaciones, que dota a los elementos con ella contruidos de gran resistencia y capaces de soportar todo tipo de acciones o combinación de ellas.



1.1.4 LOS MICROPILOTES

Se trata de hacer una perforación en el terreno, en vertical o con inclinaciones de hasta 20° , de manera que se alcance el estrato indicado, siendo rellenadas después de lechada o mortero y con capacidad de ser armados. Esta perforación se ejecuta en seco, con lodos bentoníticos o entubación, mediante rotopercusión o simplemente a rotación por lo que no suelen transmitirse vibraciones al terreno, lo que apoya aun más su utilización en obras de rehabilitación y restauración. El pequeño diámetro utilizado, entre 100 mm. y 250 mm., hace que puedan ser traspasados terrenos muy resistentes, como la roca, o elementos estructurales como el hormigón.

CARACTERÍSTICAS ORIENTATIVAS DE MICROPILOTES	
ALTURA MÁQUINA	Entre 2,2 m y 6 m
DIÁMETRO	75 a 300 mm (En general 125 a 150 mm)
SISTEMA DE PERFORACIÓN	Barrena Corona Trépano Tallante Trialeta
EXTRACCIÓN DEL SUELO	Con la barrena Con agua Con aire comprimido
MATERIAL DE RELLENO	Lechada de cemento Mortero de cemento Microhormigón
ARMADO	Barras Tubería Tubería + barra
HORMIGONADO	Gravedad A baja presión (0,5 a 1 Mpa) A media presión (3 a 4 Mpa)
CARGAS	100 a 1000 kN (valores normales 150 a 300 kN)

La utilización de tubos en la ejecución de la perforación, que pueden ser extraídos o considerarse como elementos perdidos, le da capacidad para poder traspasar oquedades dentro del terreno y le hace tener una gran resistencia a la flexión, no pandea en los casos de huecos o terrenos de baja resistencia y además se le pueden soldar otros elementos lo que le permite una gran versatilidad en su utilización.

Aparte de los tubos, o con independencia de ellos, se pueden dotar de cualquier tipo de armadura de redondos e incluso perfiles metálicos. El hormigonado se realiza mediante: gravedad, inyección de lechada o de mortero de alta resistencia. Con la utilización de válvulas antirretorno se le puede hacer un bulbo en punta, que combinado con los tubos o perfiles de armado, puede utilizarse como elemento de anclaje o atirantado.

Los micropilotes fueron concebidos en Italia, a principio de los años 1.950, en respuesta a la necesidad de resolver el recalce de edificios y monumentos históricos, con daños en sus cimientos por el paso del tiempo y en especial por la segunda guerra mundial. El desarrollo de esta innovadora solución se debe al Dr. Fernando Lizzi, director técnico de una empresa italiana especializada en el tema.

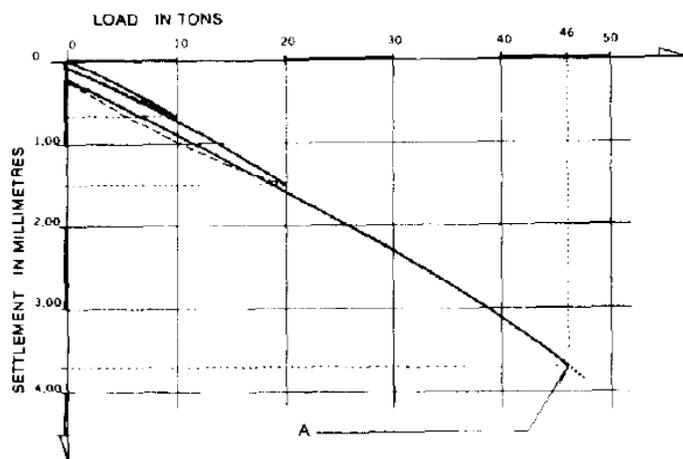
Pali-radice, estacas raíz, micropilotes son sinónimos que definen a un pilote de pequeño diámetro, que transmite la carga de una estructura a estratos de suelos más profundos, principalmente por rozamiento de su fuste con el suelo y en mucha menor medida por su punta, con asentamientos prácticamente nulos.

El término “micropilote” es utilizado casi universalmente pero entendido como refiriéndose a pilotes ejecutados con técnicas diferentes. Hay una gran profusión de términos en diferentes idiomas:

- Italiano “Pali radice”. “Micropali” (en singular “Pali radice”. “Micropalo”).
- Francés “Pieux racines”. “Pieux aiguilles”, “Micro pieux”.
- Inglés “Micropile”. “Minipile”. “Root pile”. “Needle pile”.
- Alemán “Wurzelpfähle” . “Verpresspfähle”.
- Portugués “Estaca raiz”

La confusión procede de que inicialmente los micropilotes constituyeron un procedimiento de construcción específico, patentado en Italia (en 1950-52) y en muchos otros países por la empresa FONDEDILE, patentes que, en general expiraron en la década 1970-80.

La primera referencia que he encontrado a estos pilotes está en el libro de Sansoni (1963). Describe los “pali radice” como pilotes de pequeño diámetro, ejecutados con perforación a rotación y una tubería de entubación de unos 100 mm de diámetro; después se coloca una armadura central (de una o más barras) y se hormigona manteniendo la presión del mortero en cabeza con aire comprimido, mientras se extrae la tubería de entubación. Se utiliza una mezcla con una dosificación “elevada” de cemento y aditivos.



The first load test on a pali radice. A. crushing of the toe of the pile ($\sigma = 450 \text{ kg/cm}^2$).

Figura 1. Prueba de “pali radice” en Nápoles (Lizzi, 1980)

Los resultados del primer ensayo de carga. Se alcanzaron 46 T de carga con algo menos de 4 mm de asiento y según Lizzi a ese nivel de carga se produjo la fracturación del pie del pilote a una tensión de compresión de 45 Mpa. En todo caso la curva carga-asiento denota un comportamiento elástico. El asiento remanente tras un ciclo carga-descarga hasta 20 T fue del orden de 0,3 mm.

Un comportamiento tan excelente causó sensación y el sistema se extendió rápidamente por toda Europa, siempre con resultados similares. Fondedile introdujo los “pali radice” en Inglaterra en 1962, en Alemania en 1965 y en USA en 1973 (mercado que abandonó en 1984 por razones económicas).

Durante la década 1960-1970 se usó el sistema en la construcción de algunas secciones del Metro de Milán y allí la Administración introdujo el término “micropali” para evitar el uso de un término que estaba patentado.

La primera aplicación documentada del sistema fue para el recalce de la Escuela A. Angiulli en Nápoles. Se utilizaron “pali radice” de 13 m de longitud, 100 mm de diámetro nominal y una armadura central de una barra de 12 mm. El terreno estaba constituido por arenas y cenizas volcánicas y puzolanas.

En 1967 RODIO patentó un sistema alternativo, denominado “Tubfix”, con inyección a través de tubos manguitos y armadura mediante un tubo metálico (Mascardi, 1968). El sistema sigue siendo ofertado por RODIO con el nombre comercial “Ropress”.

A partir de la década 1980-1990 prácticamente todas las empresas especializadas en cimentaciones ofrecen micropilotes de distinto nombre y con métodos de ejecución que, pueden tener diferencias acusadas.

En el mercado anglosajón a veces se diferencia entre “minipile” con diámetro entre 150 y 250 mm, y “micropile” con diámetro menor de 150 mm (Herbert, 1985). También en el N de Europa se usa a veces el término “minipile”. En España no es necesario establecer esta distinción y no se usa el término minipilote.

Parece razonable reservar el nombre de micropilote para todos los pilotes de menos de 250 mm de diámetro, diferenciándolos según el método de construcción y esa es la práctica española.

1.2 GENERALIDADES DE LOS MICROPILOTES

Los micropilotes son pilotes de un diámetro comprendido entre 250 mm y 100 mm realizados con maquinaria manejable (similar a la de perforación de sondeos) y que rellenan un taladro con lechada o mortero, después de introducir una armadura (tubos o redondos). Se consigue así un elemento resistente en que predomina, claramente la longitud (y por tanto el fuste) sobre el diámetro y que puede ser construido para transmitir cargas a estratos profundos en condiciones muy estrictas de espacio.

La perforación se realiza con rotación continua, con un equipo especialmente diseñado para operar dentro de edificios sin producir vibraciones ni ruido.

El procedimiento de hormigonado incluye la utilización caños trime. De esta manera se asegura la calidad del mortero. En obra se controla la resistencia y asentamiento.

De ser necesario se emplea el sistema de limpieza del fondo de la perforación AIRLIFT que garantiza la total remoción de detritos.

Igualmente, y dado que el sistema de perforación permite atravesar cualquier tipo de estructura, los micropilotes aseguran la unión directa con la estructura a recalzar sin obras complementarias de unión.

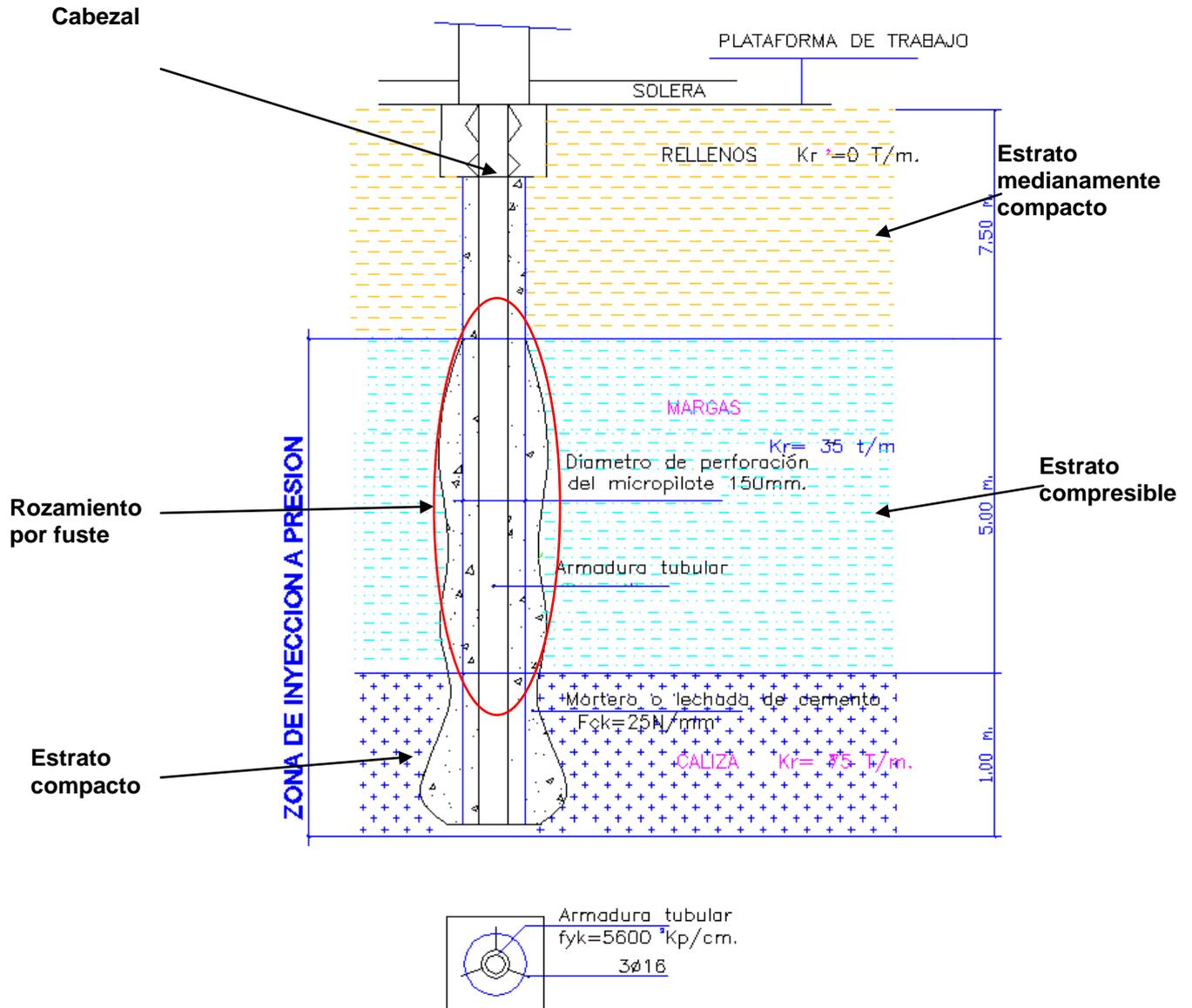


Fig. 1.1 Esquema de funcionamiento de un micropilote (Fuente Autor)

1.3 VENTAJAS DE LOS MICROPILOTES

En obras de recalce y refuerzo de cimentaciones los micropilotes presentan una serie de ventajas:

- La eliminación de obras complementarias de unión de los micropilotes a la estructura.
- Que las cargas concentradas sobre el terreno sean distribuidas, por medio de los micropilotes, en varios puntos y en zonas de terrenos no directamente afectadas por las mismas.
- Desde el comienzo de las obras de micropilotes se observan mejoras del estado de equilibrio de las estructuras, porque cada elemento entra en función cuando se comienza el fraguado del mortero.
- Dicho fraguado es muy rápido, no solo por el uso de morteros altamente dosificados, si no que también por el empleo de golpes de aire a presión controlada.
- Las obras a ejecutar pueden programarse en tiempo y coste, en particular si se conocen datos característicos del terreno.
- El sistema empleado en naves industriales permite la continuidad del desarrollo de sus actividades; en edificios que tienen sótanos se pueden realizar los trabajos sin desalojos de los inquilinos. En obras sobre carreteras, puentes y viaductos, reduciendo al mínimo las molestias para el tráfico de vehículos, etc.
- Los micropilotes inclinados absorben también pequeños esfuerzos horizontales.
- Rapidez, economía y mínimas molestias en la obra, comparado a otros sistemas.
- Posibilidad de incorporar los micropilotes a la parte sana de la estructura sin la necesidad de ejecutar elementos estructurales adicionales.
- Facilidad de ejecución en ángulos inclinados, lo cual permite aumentar su capacidad portante frente a fuerzas horizontales.
- Versatilidad de ejecución en espacios reducidos.
- Equipo perforador de pequeñas dimensiones y silencioso.

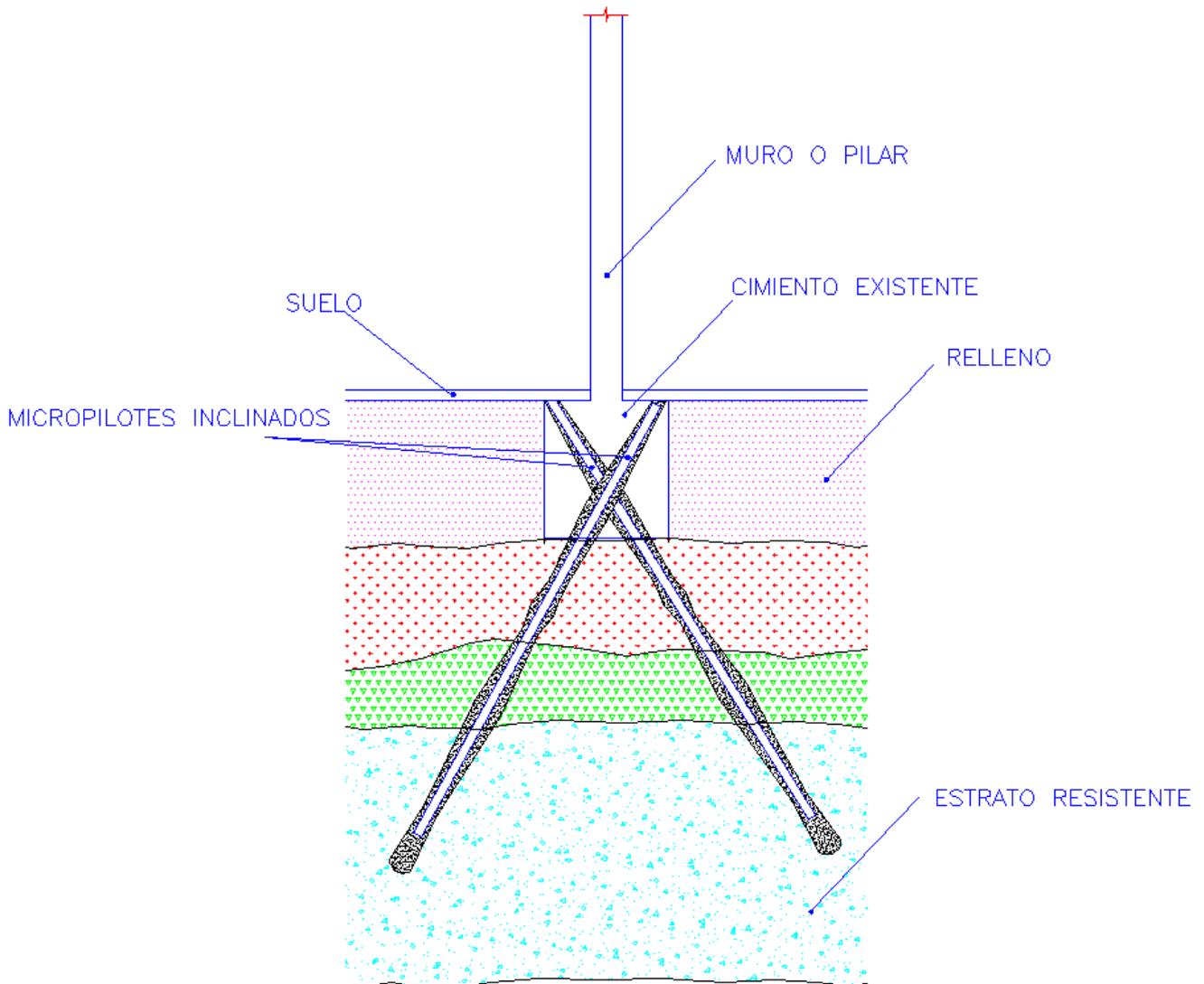


Fig. 1.2 Sección de un recalce de zapata mediante micropilotes

(Fuente Autor)

NORMATIVA



- NORMATIVA ESPECÍFICA
- NORMATIVA DE REFERENCIA
- REGLAMENTOS

2. NORMATIVA

2.1 NORMATIVA ESPECÍFICA.

Los micropilotes siempre han adolecido de falta de regulación, o al menos así era hasta que el 8 de Febrero el BOE publica la resolución del 16 de Enero donde se publican la relación de normas UNE aprobadas por AENOR durante el mes de diciembre de 2006, entre estas normas está la norma **UNE-EN14199:2006 Ejecución de trabajos especiales. Micropilotes** que sustituye a la norma EN 14199:2005.

Respecto al diseño de los micropilotes la norma **UNE-EN 14199:2006 Ejecución de trabajos especiales**. Micropilotes en su apartado 7 referente al diseño indica que las normas pertinentes son:

- Respecto a las acciones a considerar la Norma **EN 1991-1 para las bases de cálculo y las acciones sobre las estructuras**;
- Respecto al diseño estructural la Norma **EN 1992-3 para el proyecto estructural de pilotes de hormigón** en el caso que consideremos el micropilote como un pilote de hormigón y la Norma **EN 1993 para el proyecto estructural de elementos de acero**, en el caso que lo consideremos como un elemento esencialmente metálico, así como la Norma **EN 1994-1-1 para el proyecto estructural de elementos mixtos** si lo consideramos como un elemento mixto.
- Respecto al diseño geotécnico, es decir la determinación de los esfuerzos a considerar en la interacción del micropilote con el terreno la norma a aplicar es la Norma EN 1997-1 Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales.

La **UNE-EN 14199:2006 Ejecución de trabajos especiales. Micropilotes** en su apartado 6.2.2.1 referente a los elementos portantes de acero indica que éstos deben cumplir:

- Con la Norma **EN 10080, Acero para el armado del hormigón** o el proyecto de Norma prEN 10138-4, cuando se utilicen barras;

- Con las Normas **EN 10210 Perfiles huecos para construcción** o **EN 10219 Erratum de EN 10210** o **EN ISO 11960 Industrias del petróleo y del gas natural. Tubos de acero utilizados como tubos de revestimiento o tubos para pozos**, cuando se utilicen secciones huecas (por ejemplo: tubos), (Ratificada por AENOR en julio de 2011.)
- Con la Norma **EN 10025 Productos laminados en caliente de aceros para estructurales**, cuando se utilicen productos laminados en caliente (por ejemplo: secciones H).

El control de calidad de las barras de acero corrugadas para armado de los micropilotes se puede hacer conforme a la instrucción **EHE**.

Las tuberías de acero para armado de los micropilotes conforme a la Norma **UNE-EN 14199:2006** deben cumplir con: la Norma **UNE-EN 10210:2007 Perfiles huecos para construcción**, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino, Parte 1 (Condiciones técnicas de suministro) y Parte 2 (Tolerancias, dimensiones y propiedades de sección); la Norma **UNE-EN 10219:2007 Perfiles huecos para construcción soldados**, conformados en frío de acero no aleado y de grano fino, Parte 1 (Condiciones técnicas de suministro) y Parte 2 (Tolerancias, dimensiones y propiedades de sección).

El control de calidad de las lechadas o morteros de inyección se puede realizar conforme a la Norma **UNE-EN 14199:2006 (Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes)**.

El control de calidad de las barras de acero corrugadas y hormigones de las vigas se puede hacer conforme a la Instrucción **EHE**.

2.2 NORMATIVA DE REFERENCIA

A continuación se lista la normativa más interesante de referencia para la ejecución de recalces de cimentación mediante micropilotaje.

2.2.1 NORMAS UNE

Son normas nacionales de carácter voluntario elaboradas por AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

Relación de normas UNE, cuya consulta puede resultar de interés para la ejecución de recalces de cimentación mediante micropilotaje. (Anejo 2 EHE)

UNE 22950-1.	Propiedades mecánicas de las rocas. Ensayos para la determinación de la resistencia. Parte 1: Resistencia a la compresión uniaxial.
UNE 36068.	Barras corrugadas de acero soldable para armaduras de hormigón armado.
UNE 103105.	Determinación de la densidad mínima de una arena.
UNE 103106.	Determinación de la densidad máxima de una arena por el método del apisonado.
UNE 103400.	Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo.
UNE 103401.	Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo.
UNE 103402.	Determinación de los parámetros resistentes de una muestra de suelo en el equipo triaxial.
UNE 103800.	Geotecnia. Ensayos in situ. Ensayo de penetración estándar (SPT).
UNE 103804.	Geotecnia. Procedimiento internacional de referencia para el ensayo de penetración con el cono (CPT).
UNE EN 287.	Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión.
UNE EN 288.	Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos.
UNE EN 10025.	Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Condiciones técnicas de suministro.
UNE EN 10027.	Sistemas de designación de aceros.
UNE EN 10113.	Productos laminados en caliente para construcciones metálicas. Aceros soldables de grado fino.
UNE EN 10210.	Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado de grano fino.
UNE EN 10219.	Perfiles huecos para construcción, conformados en frío, de acero no aleado y de grano fino.
UNE EN 14199.	Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes.
UNE EN 1993.	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero.
UNE EN 1994.	Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón.
UNE EN 1997.	Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico.

2.2.2 OTRAS NORMAS

Se pueden citar como normas de referencia para la ejecución de recalces de cimentaciones mediante micropilotaje:

-Normas NTE

- Estructuras.

NTE-CCM «Cimentaciones, Contenciones. Muros»

NTE-CCP, «Cimentaciones, Contenciones, Pantallas»

NTE-CCT/1977, «Cimentaciones: Contenciones: Taludes»

NTE-CEG, «Cimentaciones: Estudios Geotécnicos»

NTE-CPE, «Cimentaciones. Pilotes: Encepados»

NTE-CPI/1977, «Cimentaciones. Pilotes: In situ»

NTE-CPP/1978. «Cimentaciones. Pilotes: Prefabricados»

NTE-CSC, «Cimentaciones Superficiales. Corridas»

NTE-CSL, «Cimentaciones superficiales. Losas»

NTE-CSV, «Cimentaciones superficiales, Vigas flotantes»

NTE-CSZ: «Cimentaciones superficiales. Zapatas»

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.
- Guía para el proyecto y ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera
- Eurocódigo 2. UNE ENV 1992.
- ROM 0.5-05 Recomendación Geotécnica para las Obras Marítima y/o Portuaria.
- Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02).

2.3 REGLAMENTOS

Se puede definir como disposiciones reglamentarias o reglamentos, a las disposiciones técnicas de carácter obligatorio, las cuales han sido promulgadas desde distintos departamentos ministeriales, en función de su ámbito de competencia.

En este apartado se establece una relación de las disposiciones reglamentarias para la ejecución de Recalces de Cimentaciones mediante Micropilotaje.

2.3.1 INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL. *EHE- 08*

Esta instrucción recoge el campo de aplicación de los elementos resistentes fabricados de hormigón armado.

2.3.2 INSTRUCCIÓN PARA LA RECEPCIÓN DE CEMENTOS. *RC- 08*

El objeto de esta Instrucción es establecer las prescripciones técnicas generales y las condiciones de suministro e identificación que deben satisfacer los cementos para su recepción, y cuando, así se exija, los procedimientos de muestreo y métodos de ensayo para comprobar el cumplimiento de tales prescripciones. El arquitecto técnico como Director de la ejecución debe conocer las prescripciones de esta Instrucción.

2.3.5 CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

El CTE establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la LOE.

- DB SE** Seguridad Estructural.
- DB SE-AE** Acciones en la Edificación.
- DB SE-A** Seguridad Estructural. Acero.
- DB SE-C** Seguridad Estructural. Cimientos. (No se contempla el cálculo de micropilotes inyectados).

TIPOS DE MICROPILOTES. MATERIALES Y PRODUCTOS



3

- DEFINICIÓN, APLICACIONES Y CLASIFICACIÓN
- MATERIALES Y PRODUCTOS CONSTITUYENTES DE LOS MICROPILOTES
- PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

3 TIPOS DE MICROPILOTES. MATERIALES Y PRODUCTOS

3.1 DEFINICIÓN, APLICACIONES Y CLASIFICACIÓN

3.1.1 Definición

Se define como micropilote, a un elemento cilíndrico, con un diámetro inferior a 250 mm, perforado "in situ", armado con tubería de acero, reforzada a veces con uno o varios redondos, e inyectado con lechada o mortero de cemento en una o varias fases.

Se caracteriza principalmente por el hecho de llevar armadura tubular de acero, y que el material que rodea esta armadura y que queda en contacto con el terreno (lechada o mortero) se introduce a presión contra el terreno, pudiendo realizarse esta inyección por tramos.

Se diferencian entre ellos atendiendo fundamentalmente a los siguientes aspectos:

- Por la forma de transmitir los esfuerzos al terreno:
 - Puntualmente, cada uno de los micropilotes a través de su fuste, y su punta, como cimentación profunda.
 - En conjunto, mejorando una zona determinada del terreno.

- Por el tipo de sollicitación dominante a la que están sometidos:
 - Esfuerzos axiales a compresión o tracción (cimentaciones y recalces)
 - Momentos flectores y esfuerzos cortantes (estabilización de laderas, contención de excavaciones, etc.).

- Por el sistema de perforación:
 - Métodos de perforación no encamisada.
 - Métodos de perforación encamisada.

- Por el sistema de inyección de la lechada o mortero de cemento:
 - Los inyectados en una sola fase a baja presión, también denominados de inyección única global (IU).
 - Los re - inyectados hasta dos veces a través de tubos o circuitos con válvulas antirretorno, también denominados de inyección repetitiva (IR).

- Los re - inyectados varias veces a través de tubos manguito instalados en la tubería de armadura, en toda la longitud del micropilote o en parte, también denominados de inyección repetitiva y selectiva (IRS).

En este Trabajo se abordará la clasificación de los micropilotes según el sistema de inyección empleado.

3.1.2 Principales aplicaciones

Las aplicaciones más usuales de los micropilotes recogidas en este Trabajo, se refieren básicamente a los siguientes cinco grandes grupos:

a) Como estructuras de cimentación: Aplicados tanto a obras de nueva planta (estructuras con espacio de trabajo reducido o de difícil acceso, en terrenos difíciles de perforar por intercalación de niveles rocosos, etc.), como a obras de refuerzo o recalce (remodelación de estructuras con incrementos de las solicitaciones, patologías geotécnicas, etc.).

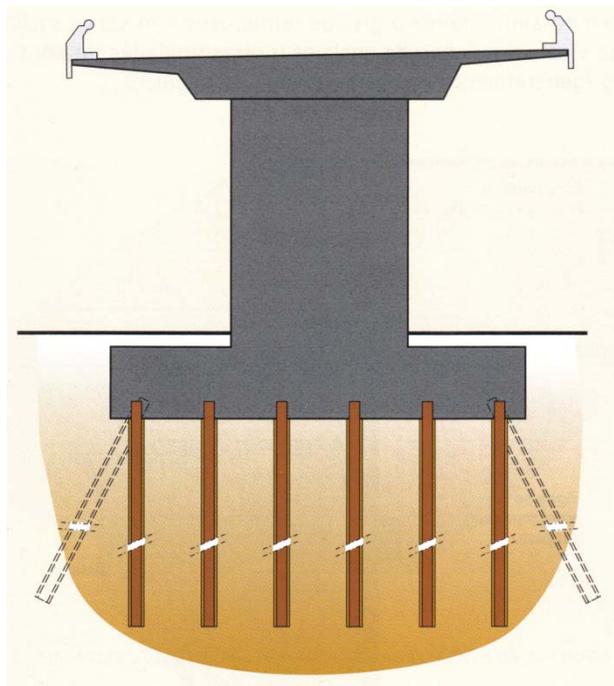


Fig.- 3.1. Ejemplo de cimentación de nueva planta con micropilotes
(Fuente Instrucción de Construcción)

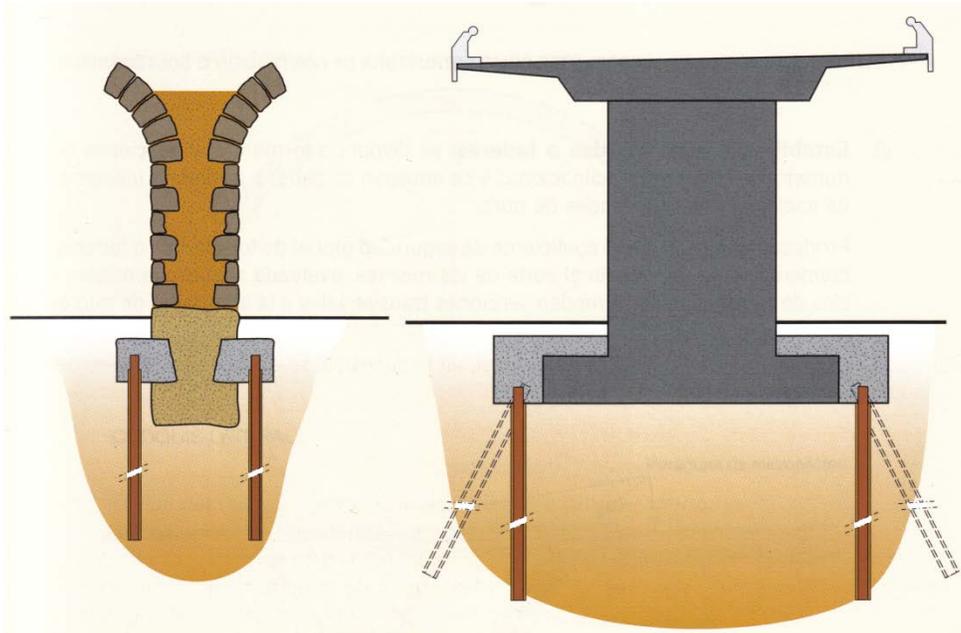


Fig.- 3.2. Ejemplos de recalce de cimentaciones preexistentes mediante micropilotes
(Fuente Instrucción de Construcción)

b) Como estructuras de contención: Aisladamente o junto con anclajes u otras unidades de obra, en la contención del terreno en excavaciones. Se sitúan en el mismo plano (generalmente vertical) o formando abanico.

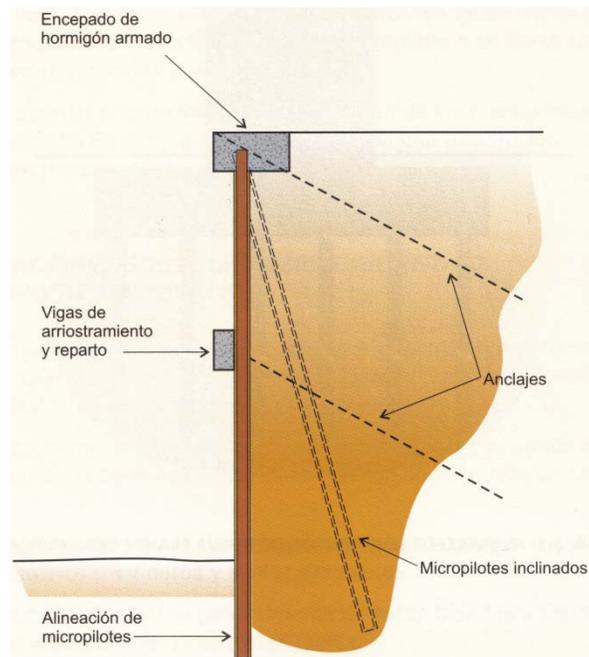


Fig.- 3.3. Estructura de contención (Fuente Instrucción de Construcción)

c) **En estabilizaciones del terreno:** Aplicados fundamentalmente en el tratamiento de taludes y laderas, producen una mejora del coeficiente de seguridad global de las mismas por incremento de la resistencia al corte de la masa de terreno potencialmente inestable.

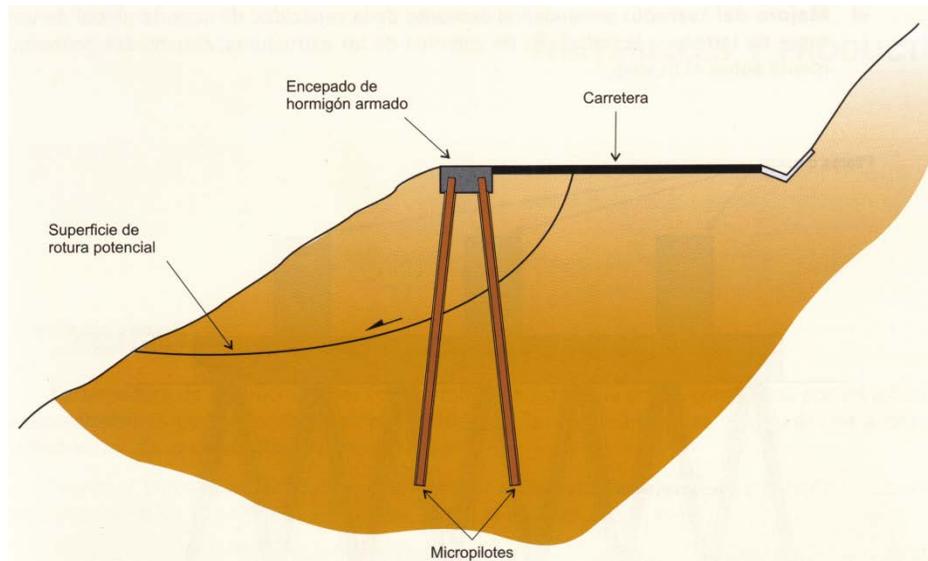


Fig.- 3.4. Estabilización del terreno (Fuente Instrucción de Construcción)

d) **En paraguas de micropilotes:** Ejecutados como sostenimiento del terreno en excavaciones de túneles.

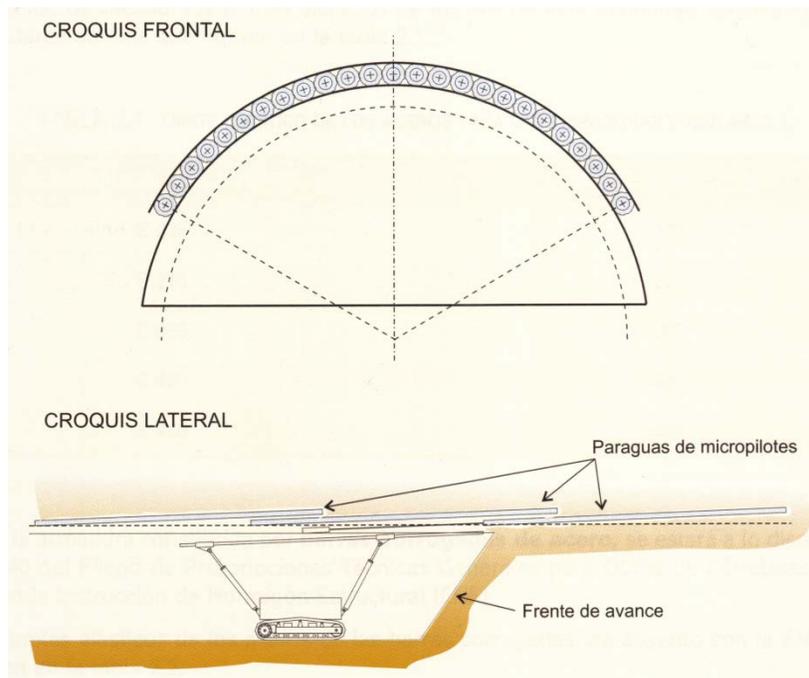


Fig.- 3.5. Paraguas de micropilotes (*Fuente Instrucción de Construcción*)

e) Como mejora del terreno: Aplicados para aumentar la capacidad de soporte global de una masa de terreno y reducir los asentamientos de las estructuras, cimentadas posteriormente sobre el mismo.

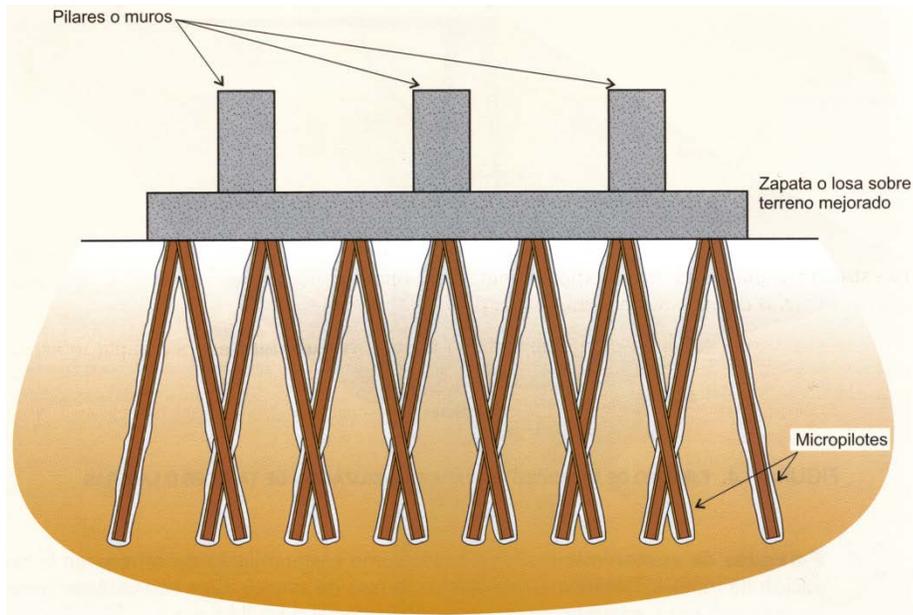


Fig.- 3.6. Micropilotes para mejora del terreno (*Fuente Instrucción de Construcción*)

3.1.3 Clasificación

3.1.3.1 Clasificación por el sistema de perforación:

-Métodos de perforación no encamisada.

1-MECHA SIMPLE: Perforación por rotación en seco de mecha helicoidal

Características del sistema

Aplicable a suelos con un grado de cohesión tal que permita perforar sin soporte alguno.

Entre las ventajas de este método se destacan:

- muy buena productividad por la alta velocidad de perforación
- trabajo en seco (sin agua, lodos u otro tipo de suspensiones).

Es ideal para perforar terrenos muy duros y compactos.

Se pueden perforar diámetros pequeños (< 180 mm) para instalación de clavos.

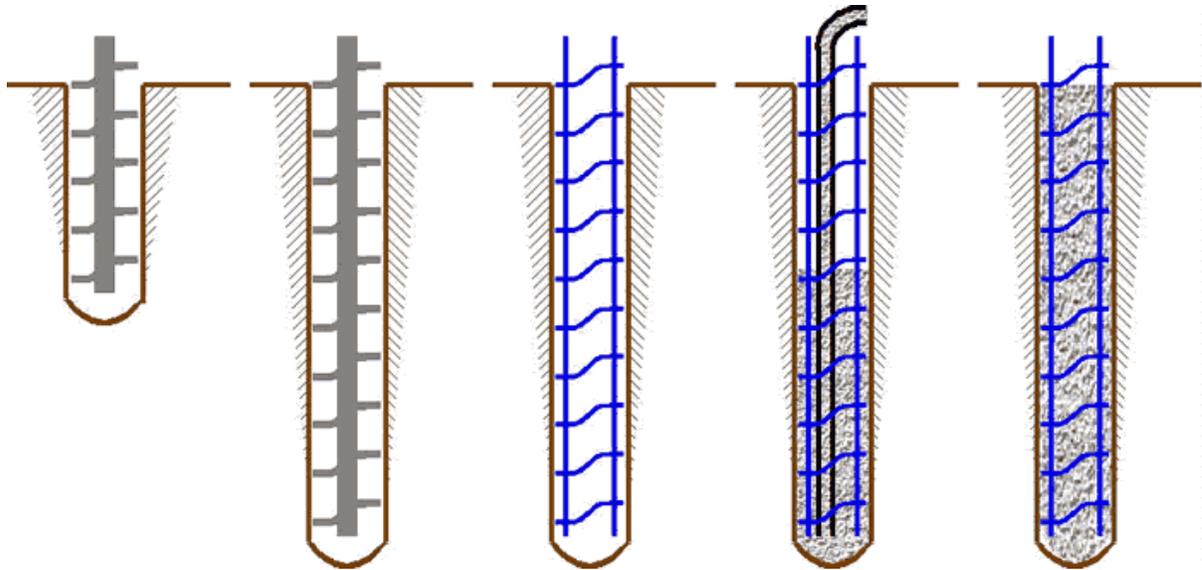


Fig.- 3.7. Esquema de micropilote ejecutado con perforación por rotación en seco de mecha helicoidal (Mecha simple)(Fuente Autor)

2-MECHA HUECA Perforación por rotación en seco de mecha helicoidal hueca

Características del sistema

Aplicable a suelos con o sin cohesión dado que la mecha actúa como camisa soportando las paredes de la perforación con el suelo remanente en el helicoide.

Entre las ventajas de este método se destacan:

- Muy buena productividad por la alta velocidad de perforación
- Trabajo en seco (sin agua, lodos u otro tipo de suspensiones)
- Compactación parcial del suelo dependiendo de la relación Dext. mecha / Dext. alma

Método similar al anterior con la ventaja de poder perforar suelos no cohesivos.

La mecha tiene una alma hueca y una punta de perforación con una tapa (recuperable o no), esto permite instalar la armadura y hormigonar antes de iniciar la extracción de la mecha de

perforación. De esta forma se puede hormigonar con presión superior a la atmosférica para crear un aumento de diámetro en la zona del bulbo.

Los diámetros típicos de perforación son de 185 a 250 mm.

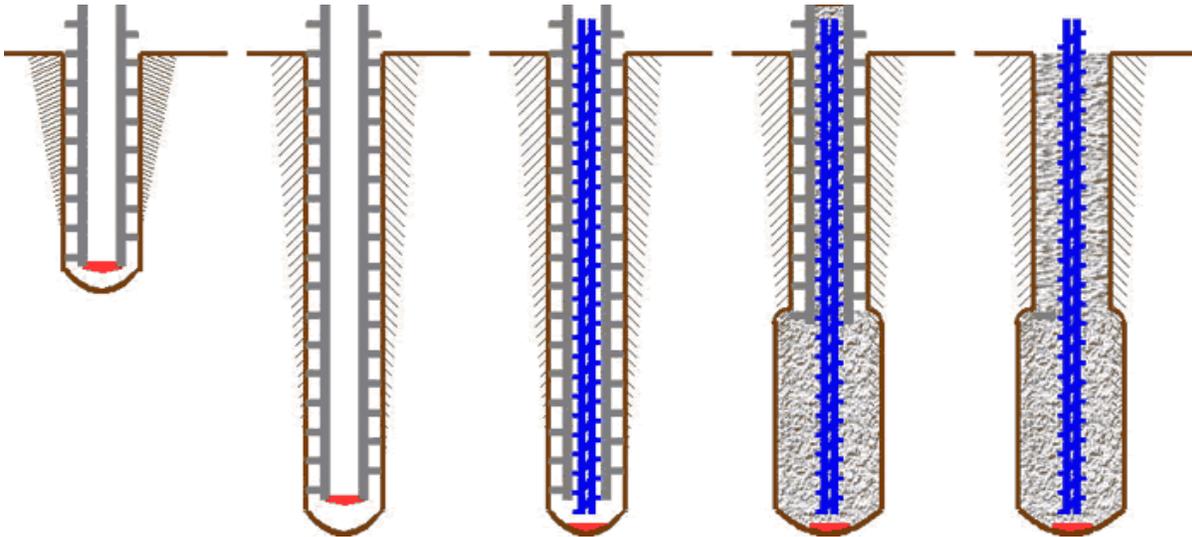


Fig.- 3.8. Esquema de micropilote ejecutado con perforación por rotación en seco de mecha helicoidal hueca (Mecha hueca) (Fuente Autor)



Foto.- 3.1. Mechas huecas de 240mm de diámetro (Fuente Autor)

3-TUBO SIMPLE Perforación con rotación o rotopercusión con enjuague exterior.

Características del sistema

Aplicable a suelos con o sin cohesión, dado que empleando lodos o suspensiones, estos también pueden actuar de soporte de las paredes de la perforación..

Este método perfora por rotación pura o por rotopercusión con martillo hidráulico de superficie utilizando un medio líquido inyectado a presión para remover los detritos (agua, lodo bentonítico o suspensión de polímeros). El líquido es inyectado continuamente dentro de la tubería lisa de perforación compuesta de una punta o cuchilla de corte (recuperable o perdida según el caso). La punta es de un diámetro ligeramente superior al del tubo, retornando el líquido con los detritos por el espacio anular que se genera entre el suelo y el tubo de perforación.

Este método es apto para todo tipo de suelos, en particular limos, arenas y gravas finas.

Los diámetros típicos de perforación son de 89 a 200 mm.

Este método puede ser muy económico en determinados casos, pero también es potencialmente muy peligroso pues se pueden producir lavados no controlables en suelos sensitivos.

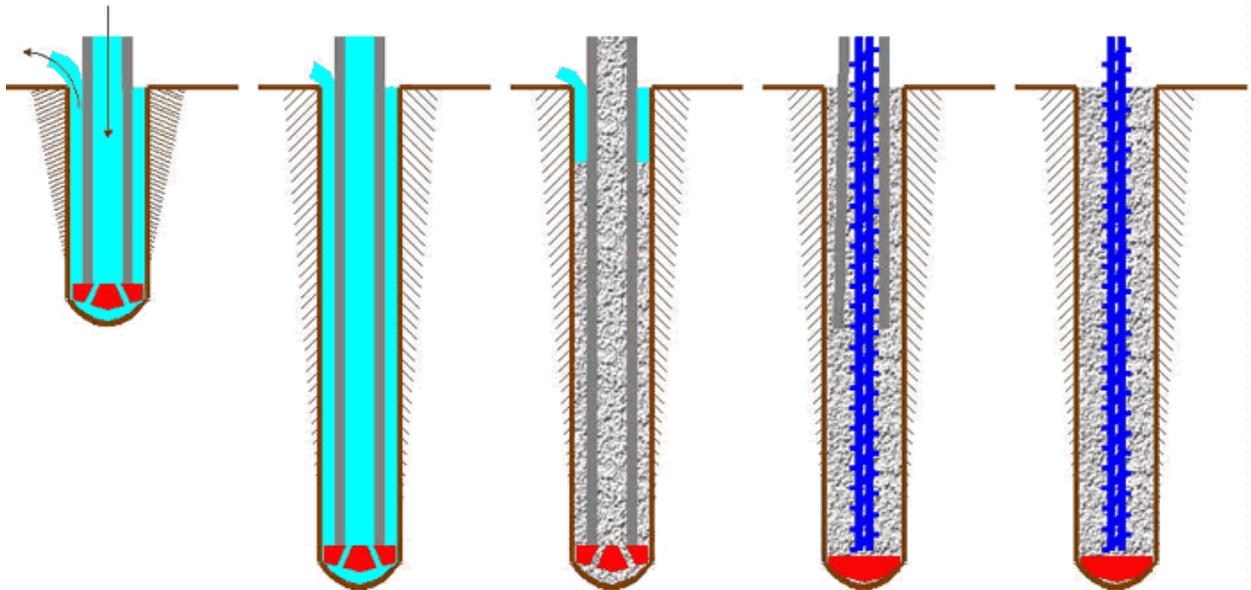


Fig.- 3.9. Esquema de micropilote ejecutado con perforación con rotación o rotopercusión con enjuague exterior. (Tubo simple)(Fuente Autor)

-Métodos de perforación encamisada:

1- **DUPLEX A** Perforación por rotación simultánea de camisa y mecha en seco.

Características del sistema

Diseñado para suelos que requieren de soporte de las paredes de la perforación.

Se retira el suelo de forma mecánica, es decir, no se requiere de medios líquidos para la retirada de los detritos.

Se puede cambiar fácilmente a otros sistemas de perforación encamisada activados por una única rotaria: **DUPLEX F**, sin tener que retirar la camisa.

Diámetros típicos de perforación van desde 100 a 250 mm

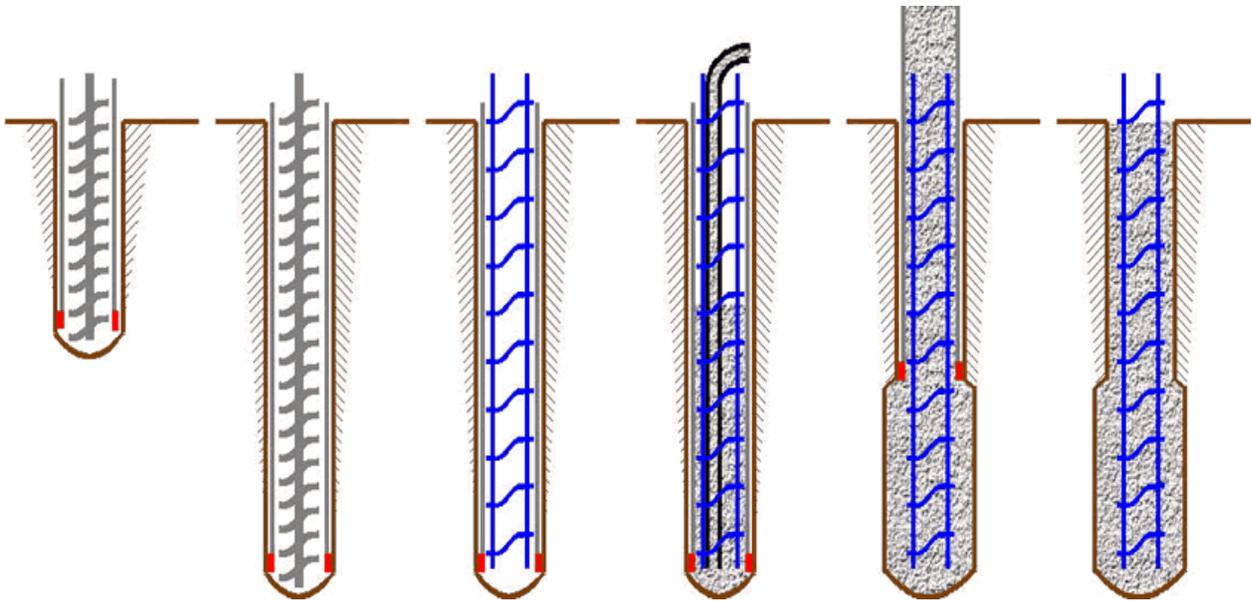


Fig.- 3.10. Esquema de micropilote ejecutado con perforación por rotación simultánea de camisa y mecha en seco. (Duplex A)(Fuente Autor)

2-DUPLEX F Perforación por rotación simultánea de camisa y tubo con enjuague interior.

Características del sistema

Diseñado para suelos que requieren de soporte de las paredes de la perforación

Se retira el suelo, inyectando un medio líquido por el tubo de perforación (generalmente agua), retornando con los detritos por el espacio anular formado por el tubo y la camisa de perforación.

Se puede cambiar fácilmente a otros sistemas de perforación encamisada activados por una única rotaria: DUPLEX A , sin tener que retirar la camisa

Diámetros típicos de perforación van desde 100 a 200 mm

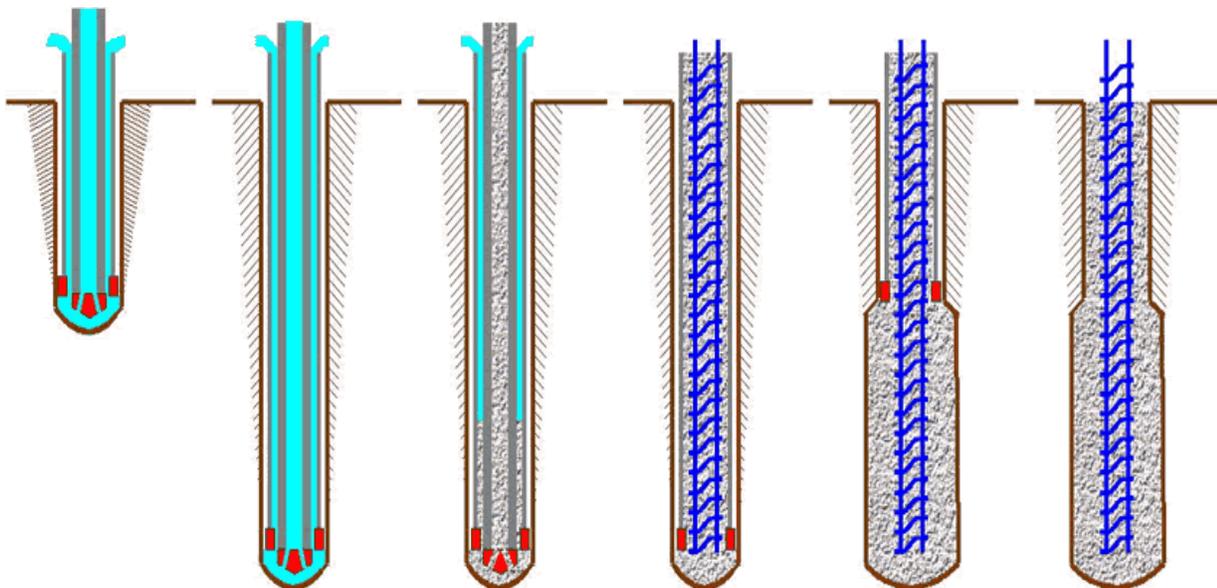


Fig.- 3.11. Esquema de micropilote ejecutado con perforación por rotación simultánea de camisa y tubo con enjuague interior. (Duplex F)(Fuente Autor)

3.1.3.2 Clasificación por el sistema de inyección

En España resulta habitual, frente a otro tipo de clasificaciones y es el criterio que se utiliza en este trabajo, clasificar los micropilotes según el sistema de inyección con que se realiza el relleno del taladro de perforación (ver epígrafe 3.1.1).

Según el tipo de inyección los micropilotes se clasifican en:

Tipo IU: Son los ejecutados mediante una **inyección única global (IU)** del taladro de la perforación, con lechada o mortero de cemento.

Esta inyección se efectúa en una sola fase para rellenar el hueco entre el taladro de la perforación y la armadura. Puede hacerse inyectando lechada o mortero por el interior de la armadura tubular para que rellene el hueco entre ésta y el terreno, ascendiendo por la corona exterior. También puede efectuarse mediante inyección a baja presión, a través de un tubo de plástico colocado en el fondo del micropilote, ascendiendo la lechada tanto por el exterior como por el interior de la armadura tubular. Esta inyección se realizará siempre de fondo a cabeza del micropilote.

La presión de inyección normalmente será inferior a medio megapascal:

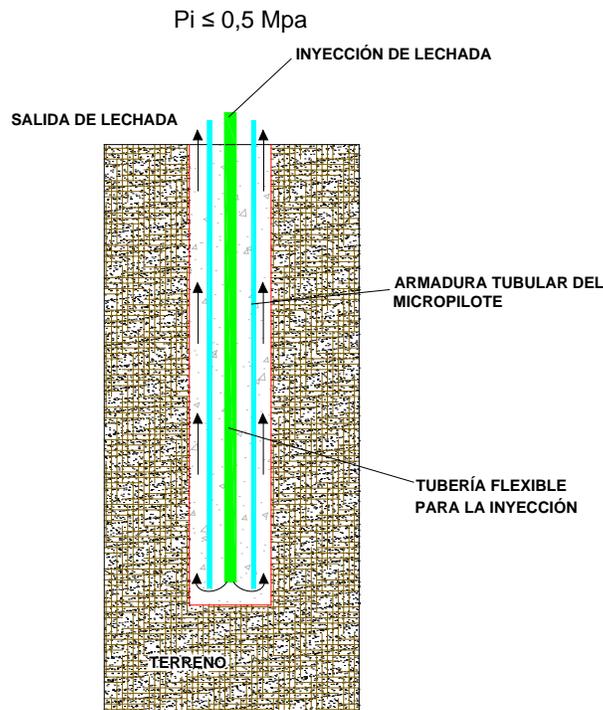


Fig.- 3.12. Micropilote tipo IU (Fuente Autor)

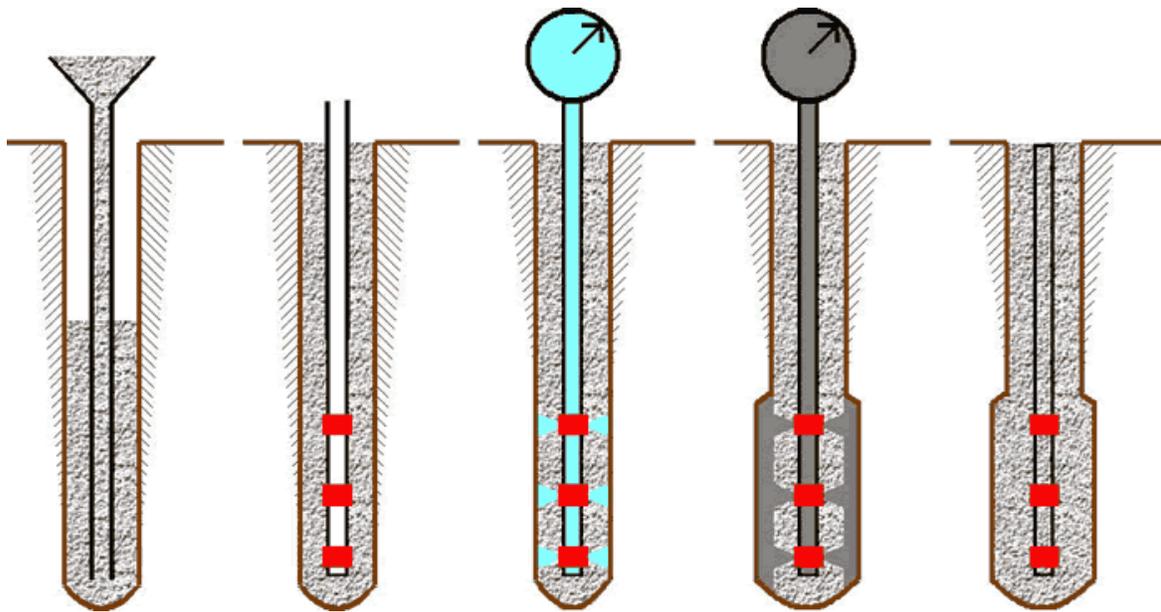


Fig.- 3.13. Esquema de Micropilote tipo IU

Tipo IR: Son los realizados mediante una **inyección repetitiva (IR)**, del taladro de la perforación.

Esta inyección se efectúa a presión, normalmente a través de un tubo o circuito con válvulas antirretorno, de efecto simultáneo. Al finalizar la inyección, este circuito deberá limpiarse para permitir la re-inyección posterior. Una variante sustituye al tubo con válvulas por un grupo de tubos, de diferente longitud, que cubren tramos diferentes del micropilote. El número de re – inyecciones generalmente no es superior a dos. Al final de la última fase de inyección, la presión en la boca del taladro deberá estar comprendida entre medio mega pascal y la mitad de la presión límite del terreno:

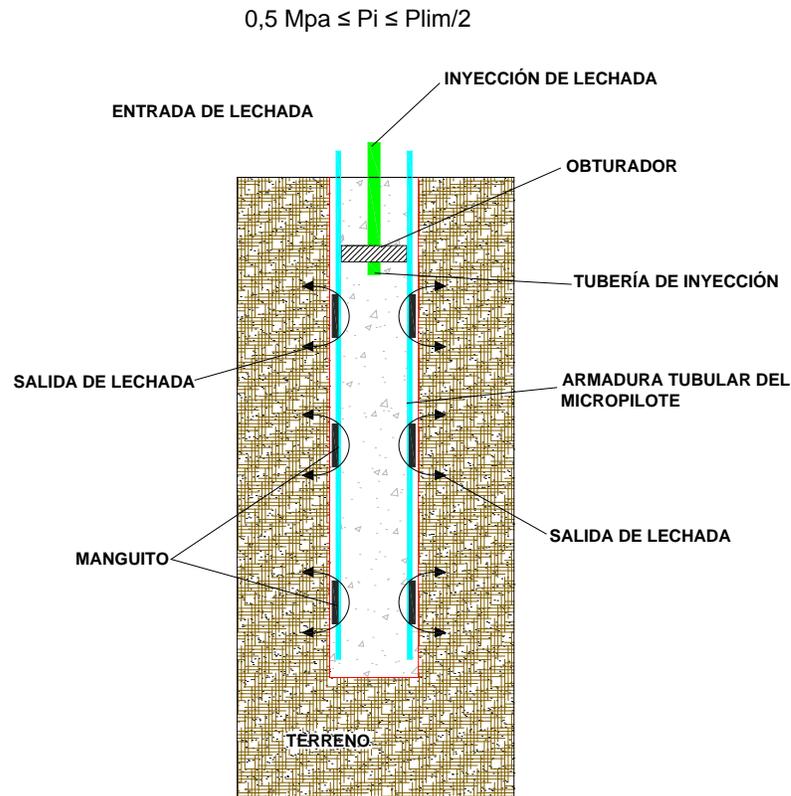


Fig.- 3.14. Micropilote tipo IR (Fuente Autor)

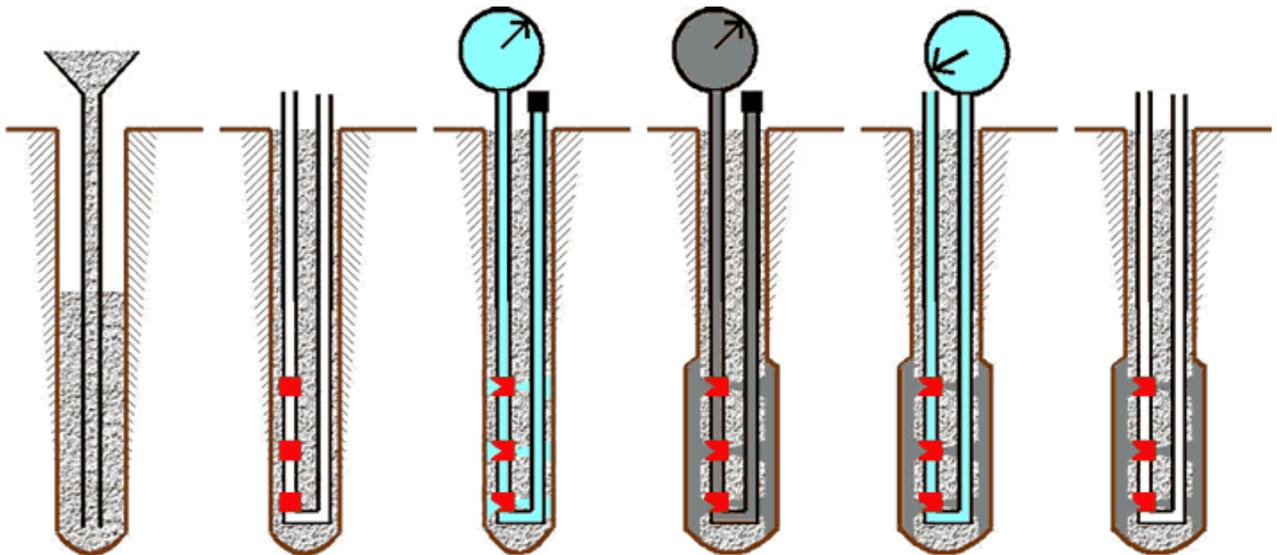
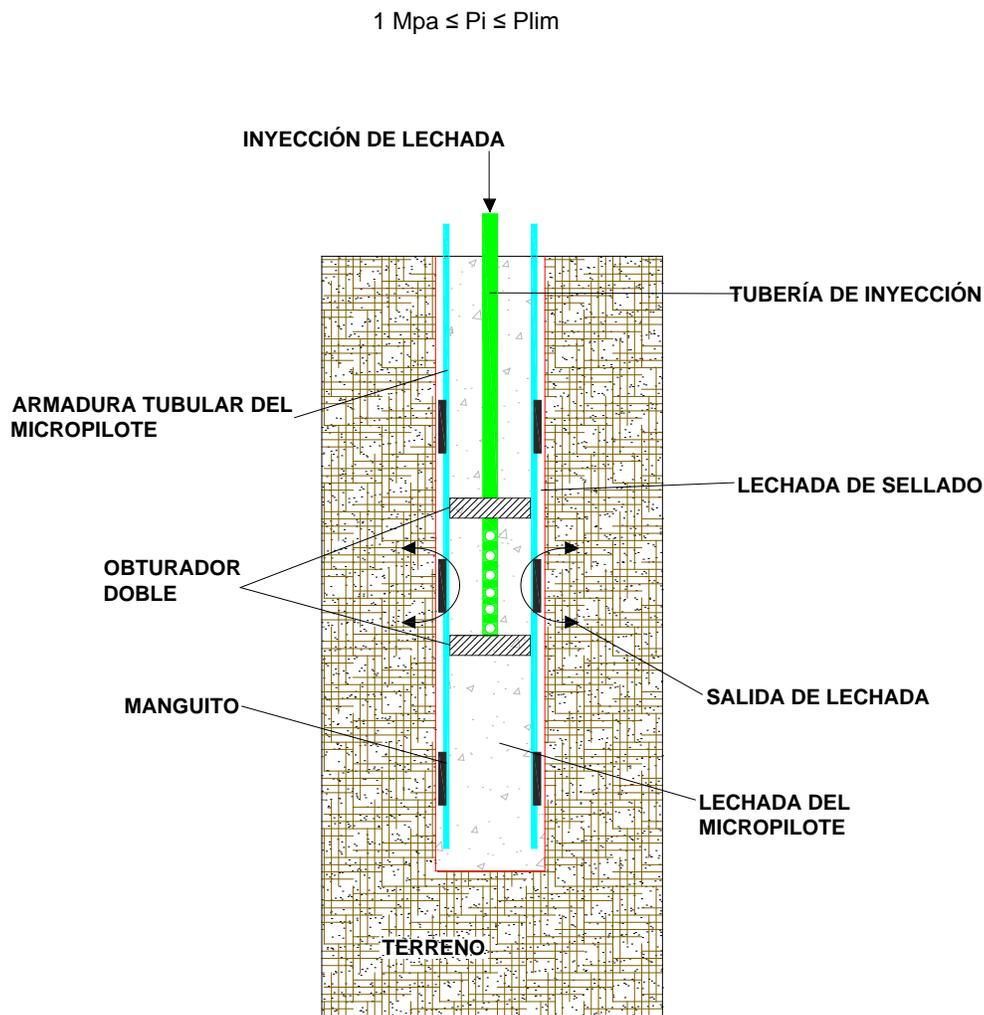


Fig.- 3.15. Esquema de Micropilote tipo IR. En este caso en particular, el sistema prevé el enjuague de los tubos de posinyección lo que permite reiterar las posinyecciones tantas veces como sea necesario. Se dispone de más de una línea de inyección, se puede controlar mejor la inyección en diferentes profundidades. (Fuente Autor)

Tipo IRS: Son los realizados mediante una **inyección repetitiva y selectiva (IRS)**, del taladro de la perforación.

Esta inyección se efectúa a presión desde el interior de la armadura tubular, con doble obturador, a través de tubos manguito instalados en la tubería de armadura, separados no más de 1 m entre sí. Se puede inyectar más de dos veces a través de manguitos seleccionados, en función de la admisión de lechada obtenida, con presión de inyección normalmente comprendida entre un megapascal y la presión límite del terreno.



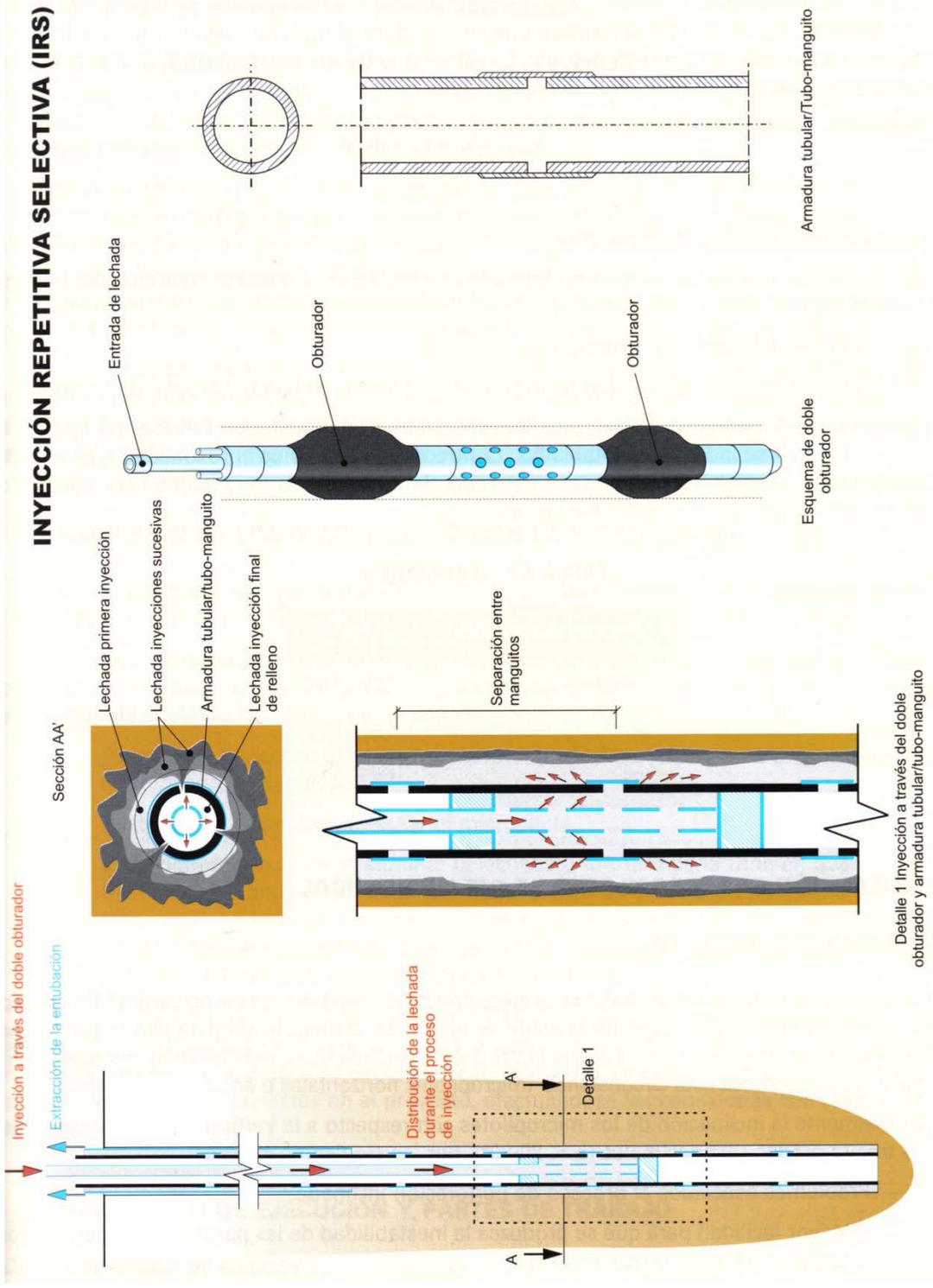


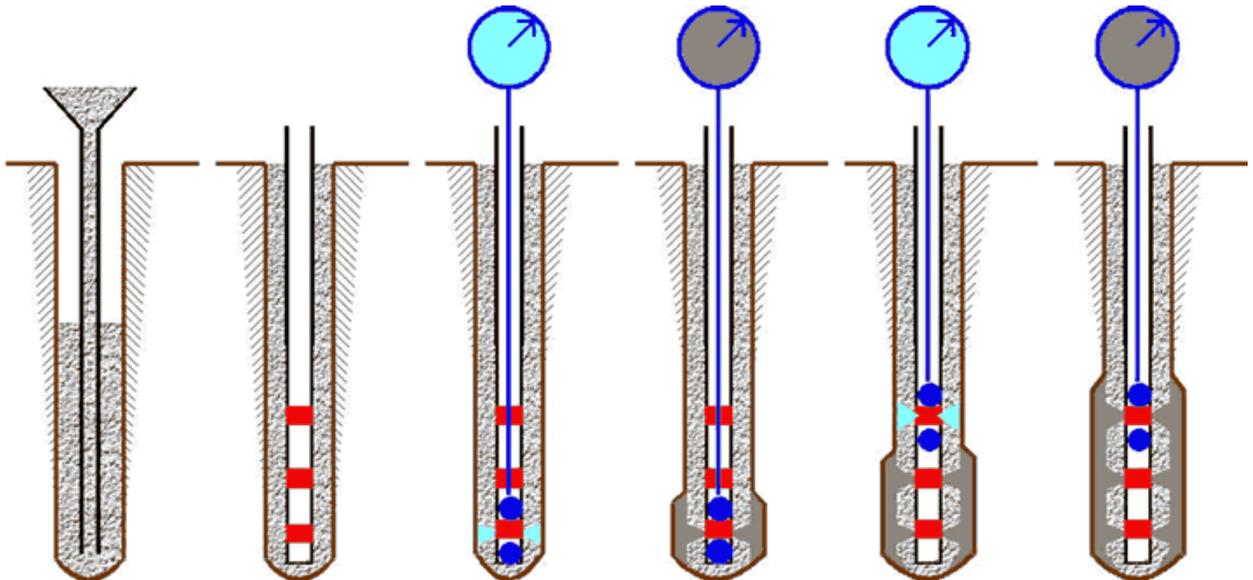
Fig.- 3.16. Micropilote tipo IRS*(Fuente Autor, Instrucción de Construcción)*

Fig.- 3.17. Esquema de Micropilote tipo IRS. En este caso en particular, el tubo de posineyección permite la introducción de un doble obturador. De esta forma se puede inyectar por cada válvula independientemente y tantas veces como sea necesario. *(Fuente Autor)*

3.1.4 Idoneidad de cada tipo de micropilote

El proceso de inyección tiene por objeto garantizar el contacto y la transmisión de esfuerzos entre la armadura tubular y el terreno. En función del tipo de terreno atravesado deberá elegirse el sistema de inyección más adecuado al caso.

A continuación se formulan algunas recomendaciones genéricas, acerca de la posibilidad de uso de unos u otros tipos en función del terreno atravesado, que deben tomarse Únicamente a título orientativo.

- Los micropilotes del tipo IU, suelen ser los más adecuados en rocas, suelos cohesivos muy duros y suelos granulares.

- Los del tipo IR se emplean generalmente en rocas fisuradas blandas y en aluviales granulares gruesos y medios.

- Finalmente los del tipo IRS, que permiten efectuar una inyección más controlada, se recomiendan en suelos con predominio de finos, en suelos de consistencia baja o media y, especialmente, en suelos granulares en los que se intenta formar un bulbo en la zona inferior.

No obstante lo anterior, cada caso precisa una definición específica de la tipología a utilizar, que también deberá ser función de la capacidad resistente requerida para el mismo.

3.2 MATERIALES Y PRODUCTOS CONSTITUYENTES DE LOS MICROPILOTES

3.2.1 Aceros

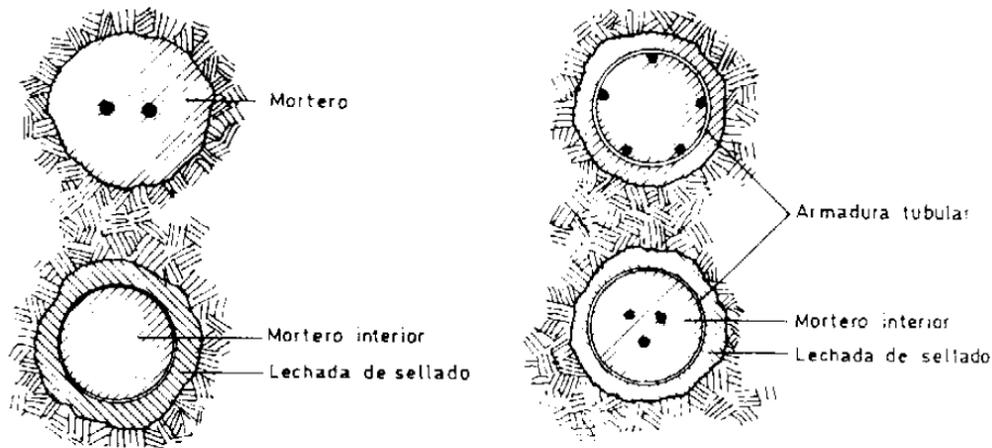
El acero de las armaduras de los micropilotes deberá cumplir, en cuanto a calidad y resistencia, lo especificado tanto en la normativa española (EHE y UNE 36068), como en la europea (ENV 1993 Eurocódigo 3, UNE-ENV 1992 Eurocódigo 2, prEN 10138). También serán de aplicación los artículos 240 (Barras corrugadas para hormigón estructural) y 620 (Perfiles y chapas de acero laminados en caliente para estructuras metálicas) del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), actualizados por la ORDEN FOM del 13/2/02.

Preferentemente se deberán utilizar en los micropilotes armadura tubular de acero.

Según el proceso de fabricación empleado, la armadura tubular deberá cumplir lo especificado en una de las dos normas siguientes, según el caso de que se trate:

- UNE EN 10210. Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado de grano fino.
- UNE EN 10219. Perfiles huecos para construcción, acabados en frío, de acero no aleado de grano fino

También se podrá reforzar la armadura tubular con barras de acero corrugadas situadas en su eje o dispuestas simétricamente en torno al mismo. En este caso, deberán usarse tubos y barras corrugadas con límites elásticos similares, empleándose el menor para el cálculo del tope estructural del micropilote.



Distintos tipos de armadura de un micropilote

Los límites elásticos más habituales de los aceros empleados en los micropilotes son los que aparecen en las tablas siguientes:

Tabla 3.1 - Características mecánicas de barras de acero para micropilotes
(Fuente "Micropile and construction Guidelins. Implementation manual")

Designación	Clase de acero	Límite elástico (f_y)	Carga unitaria de rotura mínima (f_s)	Alargamiento mínimo de rotura	Relación f_s / f_y mínima
-	-	Mpa	Mpa	%	-
Barras corrugadas					
B 400 S	Soldable	400	400	14	1,05
B 500 S	Soldable	500	550	12	1,05
Barras roscadas continuas(Dywidag Systems Internacional)					
DSI 420	Soldable	420	620		
DSI 520	Soldable	520	690		
CSI 1035	Soldable	1035			

Tabla 3.2 - Características mecánicas de tubos de acero para micropilotes
(Fuente "Micropile and construction Guidelienes. Implementation manual")

Designación Según UNE EN 10027	Clase de acero	Limite elástico (fy)
-	-	Mpa
S 235	Soldable	235
S 275	Soldable	275
S 355	Soldable	355
S 420	Soldable	420
S 460	Soldable	460

Los empalmes en las armaduras tubulares serán por soldadura o por roscado. En las barras corrugadas el empalme se efectuará siempre empleando manguitos roscados de conexión. Cualquier otro tipo de empalme debe considerarse como excepcional, debiendo justificarse expresamente en el proyecto.



*Unión macho –hembra
(reducción 50% tope estructural)*



*Unión macho -macho
(no hay reducción del tope estructural)*

Se emplearán los centradores necesarios que garanticen la correcta colocación de la armadura tubular, para asegurar el recubrimiento mínimo frente a la corrosión. Se colocará un número mínimo de dos centradores por micropilote, con una distancia máxima entre si de 5 m y dispuestos de forma tal que no impidan el correcto proceso de inyección del micropilote.

En todos los casos el contratista deberá facilitar al Director de la Obra toda la información de carácter técnico e identificativo de las partidas de acero que se vayan a utilizar en la obra. En los certificados de recepción deberá constar al menos:

- Dimensiones
- Análisis porcentual de la colada (C, Si, Mn, P, S)
- Resistencia (Limite elástico, carga de rotura, alargamiento)

En cuanto a las condiciones de suministro y recepción, los tubos de acero deberán cumplir con lo especificado en los apartados 620.5 y 620.8 del artículo 620 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), actualizado por la ORDEN FOM del 1312102 y las barras corrugadas con lo especificado en los apartados 240.3, 240.5 y 240.7 del mismo pliego.

A diferencia de los pilotes, en los micropilotes el tope estructural está condicionado fundamentalmente por el acero de la armadura. Por ello además de las calidades y límites elásticos de la armadura tubular, se debe comprobar que el sistema de fabricación del tubo sea preferiblemente de una pieza y sin juntas axiales ni helicoides soldadas, con pared de espesor constante y sin poros, costras de óxido, grietas, deformaciones u otros defectos. Además, las roscas en sus extremos deberán estar en perfecto estado para poder hacer correctamente los empalmes necesarios.

Los aceros empleados en las conexiones con las estructuras a recalzar, normalmente con diseños especiales para mejorar su adherencia (ver apartado 6.5 de este Trabajo), cumplirán las mismas exigencias de calidad que los de las armaduras.

En caso, de que la armadura tubular no sea nueva sino procedente del reciclado de material de sondeos, campañas petrolíferas, etc., deberán extremarse los reconocimientos señalados en los párrafos anteriores, comprobándose las calidades y desechándose los tubos que no se consideren aceptables por defectos en sus paredes o en las roscas. En ningún caso será suficiente con la aportación de la documentación original de la tubería nueva, puesto que deberá verificarse además su estado en el momento de la instalación.

En el caso de que se empleen aceros laminados en las conexiones con las estructuras a recalzar, encepados o vigas riostras, estos deberán cumplir lo especificado en UNE EN 10025 y UNE EN 10113.

Finalmente, tenemos la armadura constituida por la barra TITAN que es el sistema de ejecución de micropilotes patentado por la empresa ISCHEBECK.

Esta barra TITAN se compone de un tubo de acero roscado, empalmado mediante manguitos roscados externos con tope y juntas de estanqueidad centrales y provistos de una boca de perforación de un solo uso-perdida: autoperforación.



Componentes de un micropilote TITAN

3.2.2 Lechadas y morteros de cemento

Serán de aplicación en este apartado la vigente Instrucción para la Recepción de Cementos (RC 08), la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) y el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), entre las normas españolas y la ENV 197.1:1992, entre las europeas.

Los cementos a utilizar para las lechadas y morteros de cemento serán los empleados en cimentaciones de hormigón armado según la vigente Instrucción para la recepción de cementos y su clase resistente será al menos 42,5N. En caso de existir sustancias agresivas en el terreno (por ejemplo sulfatos), el cemento a utilizar deberá ser resistente al ataque de las mismas.

Lo relativo al agua de amasado y a los aditivos estará de acuerdo con lo especificado en la vigente Instrucción de Hormigón Estructural (EHE).

El agua de amasado cumplirá lo especificado en el artículo 27 de la mencionada EHE, y los aditivos lo que se indica al respecto en el artículo 29 de dicha Norma.

A los efectos de este trabajo vamos a definir las lechadas como mezclas de cemento, agua y aditivos en su caso. Asimismo se denominan también lechadas (conforme UNE EN 14199), aquellas mezclas que incluyan la adición de polvo mineral o arena de tamaño inferior a dos milímetros (2 mm) en cantidad, inferior en peso, al total del cemento de la mezcla. Las mezclas que incluyan áridos que superen las limitaciones anteriores de tamaño máximo o de peso total, serán consideradas como morteros.

3.2.2. 1 Lechadas de cemento

Las lechadas utilizadas en los micropilotes deberán estar dosificadas con una relación agua/cemento (a/c) que se fijará en función de la resistencia necesaria y de las condiciones de inyección de los mismos (ver figura 3.18).

La dosificación vendrá condicionada por la resistencia característica en la rotura a compresión de probetas con edades de 28 días.

- Esta resistencia no será inferior a 25 MPa en rotura de probetas cilíndricas con relaciones altura / diámetro igual a 2 (Cuando la resistencia a compresión sea obtenida en probetas con diferente relación altura / diámetro, deberán aplicarse los coeficientes de corrección normalmente usados para hormigones).
- A los 7 días la resistencia a compresión simple en dichas probetas, no será inferior al 60% del valor requerido a los 28 días.

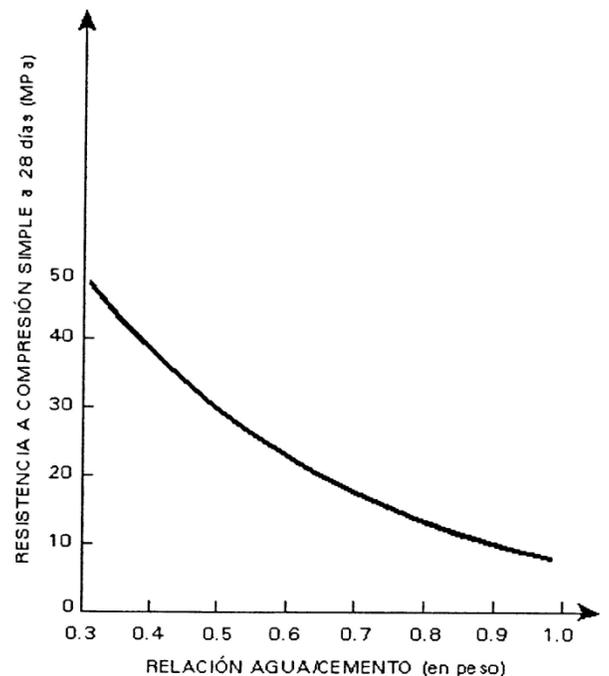


Fig.- 3.18 – Gráfica de la relación a/c y la resistencia a compresión simple a 28 días
(Fuente "Micropile and construction Guidelienes. Implementation manual")

Las lechadas de cemento deberán ser dosificadas de manera tal que tengan alta resistencia y estabilidad, y que al mismo tiempo sea fácilmente bombeables. Teniendo en cuenta esto y la resistencia mínima exigida en el párrafo anterior, de la Figura 3.18 se deduce que la relación agua / cemento, en peso, de estas lechadas deberá mantenerse entre 0.4 y 0.55. En caso de que por las características del terreno sea necesario recurrir a lechadas con relaciones agua / cemento por debajo de 0.4, deberá agregarse aditivos a las mismas, para permitir que se puedan bombear en forma adecuada.

3.2.2.2 Morteros de cemento

La dosificación vendrá condicionada por la resistencia característica en la rotura a compresión de probetas a 28 días. Esta resistencia no será inferior a 25 MPa, en rotura de probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm, según UNE 80101. En cualquier caso, la resistencia a 7 días no será inferior al 60% de la resistencia exigida a 28 días.

En el caso de que la cantidad, en peso, de arena agregada, de tamaño menor que 2 mm, sea menor que la de cemento, el material a inyectar seguirá siendo considerado como una lechada de cemento. Cuando la cantidad de arena supere el límite anterior, a la mezcla a inyectar se la considerará un mortero.

Los morteros de cemento utilizados en la inyección de los micropilotes deberán presentar un contenido de cemento de al menos 375 Kg./m³, salvo indicación expresa en contra del Director de las Obras. Su relación agua / cemento, en peso, deberá ser inferior a 0.6 y la distribución granulométrica de la arena a emplear deberá cumplir lo siguiente:

d 85 <= 4 mm

d 100 <= 8 mm

Esta arena deberá estar limpia (sin partículas que pasen por el tamiz 0.16 UNE) y seca y cumplir con todas las especificaciones recogidas en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE) vigente o norma que la sustituya.

3.3 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Las armaduras de los micropilotes, y el resto de los elementos metálicos como los de unión, estarán protegidos frente a la corrosión durante su vida útil.

El sistema de protección considerado viene determinado por el espesor de la lechada o mortero de cemento que rodea o recubre a la armadura en toda su longitud, que debe estar garantizado por la colocación del número de centradores necesarios.

El recubrimiento mínimo entre la armadura y el terreno se deberá materializar mediante centradores adecuados. En micropilotes sometidos a esfuerzos de compresión, será el especificado en la EHE, y en ningún caso inferior a 20 mm, cuando sean inyectados con lechada o mortero de cemento.

TABLA 2.3. RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS, r (mm)

	LECHADA	MORTERO
Compresión	20	30
Tracción	25	35

Se incrementarán estos recubrimientos de acuerdo con la EHE, en ambientes agresivos, con fuertes erosiones o cuando el micropilote pueda estar sometido a esfuerzos de tracción durante su vida Útil.

En ambientes agresivos, el proyecto podrá disponer protecciones adicionales, tales como:

- Uso de cementos y aceros especiales.
- Recubrimientos superiores a los especificados en la tabla 2.3.
- Protección catódica.
- Entubación permanente en el tramo de terreno considerado como agresivo.
- Tratamiento superficial.
- Otros sistemas.

Debe procurarse que las armaduras tubulares no actúen como sostenimiento de la perforación y se recomienda que la punta de la armadura no apoye directamente sobre el fondo y que el recubrimiento mínimo entre armadura y terreno se materialice mediante centradores.



Separadores de plástico para las armaduras

En ningún caso la diferencia entre los diámetros del taladro y de la armadura tubular puede ser inferior al doble del recubrimiento previsto, si bien es recomendable incrementarla en función del tipo de ejecución, centradores empleados, etc. Debido a esto, no puede admitirse que las armaduras tubulares se utilicen como sostenimiento de la perforación y que la punta de dichas armaduras apoye directamente sobre el fondo de la perforación.

En el cálculo de la resistencia estructural de los micropilotes, deberá tenerse en cuenta la correspondiente reducción de espesor de las armaduras por corrosión, en función de la vida útil de la estructura proyectada y de las características del terreno.

Salvo justificación expresa del proyecto, la reducción de espesor de la armadura que debe considerarse, a causa de la corrosión, por el contacto del micropilote con el terreno (con o sin presencia de agua subterránea) será mayor o igual que la reflejada en la tabla 2.4.

TABLA 2.4. REDUCCIÓN DE ESPESOR DE ARMADURA POR EFECTO DE LA CORROSIÓN¹, r_c (mm)

TIPO DE TERRENO	VIDA ÚTIL REQUERIDA AL MICROPILOTE ³ (años)				
	5	25	50	75	100
Suelos naturales sin alterar	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Suelos naturales contaminados o suelos industriales	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Suelos naturales agresivos (turberas, ciénagas, etc.)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Rellenos no agresivos sin compactar ²	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Rellenos agresivos sin compactar (cenizas, escorias, etc.) ²	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

¹ Según UNE EN 14199.

² La corrosión es menor en rellenos compactados que en rellenos sin compactar; así, en los compactados, los valores reflejados en esta tabla pueden reducirse hasta la mitad.

³ Los valores dados para 5 y 25 años se basan en mediciones reales, mientras que en los demás casos se han obtenido como resultado de extrapolaciones.

ANÁLISIS DEL PROYECTO



4

- MEMORIA
- PLIEGO DE CONDICIONES
- PLANOS
- PRESUPUESTO
- LISTA DE ANÁLISIS DEL PROYECTO

4. ANÁLISIS DEL PROYECTO

Para comenzar con el análisis del proyecto de ejecución de un recalce de cimentación mediante micropilotaje, daremos una definición global de proyecto de ejecución: “conjunto de documentos que definen en toda su extensión las características del objeto a construir”. Un buen proyecto es aquel en donde se especifican todos los detalles precisos para una relación clara de lo que se realizará y que además esta especificación esté claramente expresada para que los agentes que hagan uso del mismo tengan nítidamente marcado el objeto de sus respectivos trabajos. Para una correcta dirección de la ejecución de la obra es imprescindible, previamente a cualquier acción relacionada con la obra, por parte del director de la ejecución someter el proyecto a un completo examen, el cual le permitirá:

- Conocer el proyecto en toda su extensión.
- Asegurarse que dispone en el proyecto de los datos que en su momento le permitan ejercer sin ambigüedades su cometido.
- Planificar la dirección de la ejecución con la antelación suficiente previendo las acciones, comprobaciones, ensayos o pruebas.
- Eliminar los posibles problemas durante su ejecución: desconocimiento ⇒ improvisación.

El análisis del proyecto incide sobre los aspectos que son responsabilidad del director de la ejecución, los cuales, son la recepción de los materiales, la dirección de la ejecución de las distintas unidades de obra y la confección de certificaciones y liquidación final.

Un proyecto de ejecución de un recalce de cimentación mediante micropilotaje, está constituido por:

- Memoria
 - Memoria descriptiva
 - Memoria constructiva
 - Memoria de cálculo
 - Estudio básico de seguridad y salud (anexo)

- Pliego de condiciones
- Mediciones y presupuestos
- Planos

A continuación se matizan los aspectos más relevantes que debe analizar el director de la ejecución, de cada uno de los documentos de que consta el proyecto de ejecución de un recalce de cimentación mediante micropilotaje.

4.1. MEMORIA

La memoria es un documento que describe las obras ligándolas con las circunstancias de su entorno y los objetivos a alcanzar, es el lugar del proyecto en donde el proyectista justifica tanto la elección como los cálculos de las diversas soluciones empleadas, al igual que justifica el cumplimiento de la reglamentación que le es de aplicación. La memoria, en un proyecto de ejecución de un recalce de cimentación con micropilotes, normalmente es de la siguiente manera:

- Memoria descriptiva. En ésta se describe el lugar (la parcela) en donde se va a llevar a cabo la ejecución, mencionando todas sus propiedades y normativa de aplicación. Así mismo se describe la solución adoptada para la construcción de recalce de cimentación con micropilotes y se resume el presupuesto. Con este documento se puede conocer, sin profundizar, el conjunto de la ejecución que se pretende llevar a cabo.
- Memoria constructiva. Aquí se describe el tipo de micropilotaje a emplear, método de ejecución, así como todos los elementos que lo forman:
 - Tipo de hormigón y acero.
 - Sistema a emplear
 - Maquinaria.
- Memoria de cálculo. Se justifica el cálculo de los elementos de la recalce de cimentación exponiendo todas las acciones, hipótesis de carga, coeficientes de

seguridad, todo esto según normativa correspondiente. Se describen todas las propiedades y características de los materiales y componentes. Hasta este punto del proyecto, el Arquitecto Técnico como director de la ejecución de la obra, esta en disposición de conocer y organizar la dirección de la ejecución, a falta del apoyo técnico de los planos.

4.2. PLIEGO DE CONDICIONES

El pliego de condiciones se convierte en un código de disposiciones de aplicación a la obra en todos sus aspectos. Son objeto del pliego de condiciones, en referencia a recalce de cimentación mediante micropilotaje, todos los trabajos de los diferentes oficios necesarios para la realización de la totalidad del recalce de cimentación, incluidos todos los materiales y medios auxiliares, así como la definición de la normativa legal a que estén sujetos todos los procesos y las personas que intervienen en dicha parte de obra, y el establecimiento previo de criterios y medios con los que se pueda estimar y valorar las obras realizadas.

En definitiva, el pliego de condiciones para el tema que nos ocupa deberá describir:

- Método de ejecución del recalce de cimentación mediante micropilotaje.
- Todos los materiales necesarios para la ejecución del recalce de cimentación y sus especificaciones.
- Referencias a reglamentación de aplicación.

El técnico encargado de la dirección de la ejecución no puede pasar por alto la importancia de lo escrito en este documento y, en todo caso, pedir las aclaraciones o rectificaciones correspondientes si, de su redacción, se desprenden contradicciones con el resto de los documentos del proyecto.

Porque no, decir que, en la práctica, las especificaciones de las que se han hablado anteriormente se van derivando tanto a los planos como al presupuesto.

4.3. PLANOS

Los planos se pueden definir como la descripción gráfica completa del proyecto, permitiéndonos conocer, mediante su análisis, las características geométricas de recalce de cimentación y sus elementos.

Cada vez con más frecuencia y en general de acuerdo a prescripciones reglamentarias, se introducen en los planos especificaciones respecto de materiales u otras cuestiones más propias de los pliegos de condiciones.

En los proyectos de edificaciones con recalce de cimentación mediante micropilotaje de hormigón, los planos nos definen algo más que la geometría del elemento. De ellos se interpretan los diferentes tipos de uniones de todos los elementos que conforman el recalce de cimentación y, en definitiva, el proceso de montaje de la misma, además de las características de los materiales, niveles de control y coeficientes de seguridad adoptados.

- Por ello, esta parte del proyecto tiene que estar bien documentada mediante:
- Planos de ubicación de la unidad de obra.
- Planos de planta.
- Secciones
- Planos de detalle, que son los que principalmente, nos darán la solución a la ejecución de cada uno de los elementos del recalce de cimentación mediante micropilotaje.

4.4. PRESUPUESTO

El presupuesto es el reflejo de los aspectos económicos de la obra, donde se recoge el estado de mediciones de cada una de las unidades de obra y el precio de las mismas.

Este es un documento que tiene una importancia trascendental para el Arquitecto Técnico, ya que como responsable de la elaboración de las certificaciones y liquidación final de obra no debe ofrecer dudas respecto a su utilización.

El presupuesto de la totalidad del recalce de cimentación mediante micropilotaje de hormigón se realiza mediante un capítulo específico, cuya unidad de medición es el ml.

Como anexo al proyecto se redactará un Estudio Básico de Seguridad y Salud, donde se indicará las normas relativas a la seguridad y salud de la obra, riesgos que se pueden dar en obra, medidas preventivas a esos riesgos mediante protecciones colectivas e individuales.

4.5. LISTA DE ANÁLISIS DEL PROYECTO

A continuación se muestra lo que puede ser una posible lista de análisis de un proyecto de un recalce de cimentación mediante micropilotaje de hormigón.

La finalidad con la que se ha realizado esta lista es poder comprobar la concordancia entre los diferentes documentos del proyecto recalce de cimentación mediante micropilotaje, con el proyecto global de la obra, para en el caso de que exista alguna incongruencia, entonces, poder comunicárselo al proyectista con la suficiente antelación a la ejecución.

LISTA DE ANÁLISIS DEL PROYECTO

OBRA:		FECHA:			
SITUACIÓN:					
INSPECTOR:					
Unidad de obra	Memoria	Planos	Presupuesto	Pliego de condiciones	Observaciones
Diámetro					
Profundidad					
Hormigón - Lechada					
Tipo					
Resistencia					
Consistencia					
Relación a/c					
Tamaño máx.					
Cemento					
Aditivos					
Recubrimiento					
Armadura					
Tubular -Soldada					
-Roscada					
Barras corrugadas					
Control ejecución					
Nivel					
Entubación					
Tipo					
Tipo de inyección					
IU (<i>Inyección Única</i>)					
IR (<i>Inyección Repetitiva</i>)					
IRS (<i>Iny. Repetitiva Selectiva</i>)					
Uniones con la cimentación					
Directa					
Indirecta					
Medición					
Unidad					

HOJA DE COMUNICACIÓN AL DIRECTOR DE OBRA.

Sr. D/Dña.

Director de la

obra..... situada en

Me dirijo a usted para comunicarle que, tras la revisión realizada al Proyecto de la obra mencionada con anterioridad, realizado por Vd., he observado la falta y/o la no correspondencia de datos entre diferentes documentos del proyecto, que son los que se describen a continuación:

Le rogaría que me los facilitara de alguna forma.

A la espera de sus noticias reciba un cordial saludo.

Cartagena, a de de 2013

Director de la Ejecución

Fdo. D/Dña.

ANÁLISIS DEL EDIFICIO A RECALZAR Y DE SUS COLINDANTES



- ESTUDIOS PREVIOS A REALIZAR ANTES DE COMENZAR LOS TRABAJOS DE RECALCE
- FALLOS MAS FRECUENTES EN CIMENTACIONES
- COLOCACIÓN Y CONTROL DE TESTIGOS DE ASENTAMIENTO DEL EDIFICIO AFECTADO Y DE SUS COLINDANTES

5 ANÁLISIS DEL EDIFICIO A RECALZAR Y DE SUS COLINDANTES

5.1 ESTUDIOS PREVIOS A REALIZAR ANTES DE COMENZAR LOS TRABAJOS DE RECALCE

Debe abrirse un dossier en el que ha de figurar lo siguiente:

- 1) Duración de la inspección inicial, periodicidad con que se debe revisar la estructura y técnicos que intervendrán.
- 2) Descripción detallada de la estructura, indicando el uso a que se destina cada zona, sobrecargas de cálculo y otros detalles de interés técnico, todo ello sobre planos reales.
- 3) Acta notarial del estado de conservación del edificio con indicación clara y localizable de grietas fisuras y desperfectos. Acompañada de una serie de fotografías de los mismos.
- 4) Puntos de medida y forma en que se va medir la evolución de fisuras grietas y asientos. Los testigos irán numerados y fechados.
- 5) Inspección de los servicios propios del inmueble o estructura y estado de las conducciones de agua, gas, saneamiento y de otro tipo que interesen al propio edificio o a los cercanos, así como al terreno afectado por la estructura en cuestión
- 6) Apreciación por especialistas de las posibles causas de los daños que se observan, con indicación de si se trata de daños provocados por movimientos verticales y laterales o por otras causas.
- 7) Informe geotécnico del terreno que sirvió de base para proyectar la cimentación de la estructura y estudios necesarios que se deban realizar para conocer detalladamente la situación actual del suelo que es afectado por la estructura, debajo o adyacente a la misma. Estas investigaciones deben orientarse a conocer:

- estado actual de las cimentaciones, mediante pozos o calicatas.
- naturaleza y características del terreno, subyacente.

- capacidad de carga del suelo en el que se va a cimentar el recalce.
- evolución del nivel freático
- comportamiento del suelo respecto a los asientos y medidas que deben adoptarse a este respecto al proyectar el recalce.

8) Puntos débiles de la estructura que pueden, ser afectados por el recalce y cuyo daño puede acentuarse durante el mismo, para tomarlas medidas oportunas, así como la necesidad de apea o no la estructura o parte de ella mientras se recalza, y líneas generales del proyecto del apeo.

A la vista de los datos reunidos, conviene controlar (y estar en contacto directo con el director de las obras) por si se ha de recalzar parte de la estructura o su totalidad, teniendo en cuenta las interacciones entre las distintas partes de la misma y los efectos secundarios que el recalce de una parte puede producir en el resto. En ocasiones suelen marcarse unas prioridades en función de la gravedad de la situación, dividiendo el recalce en varias fases consecutivas y realizándolas todas o no, de acuerdo con la evolución de los testigos colocados, según avanzan los trabajos de refuerzo.

5.2 FALLOS MAS FRECUENTES EN CIMENTACIONES.

En este apartado analizamos los distintos fallos que pueden acontecer a una cimentación y sus síntomas más visibles ya que, en definitiva, son estos últimos los que primero nos advierten del problema.

En la mayoría de los casos, el conocimiento de los fallos en la cimentación se produce cuando ya existen daños en el edificio, a veces de gran importancia, con la aparición de lesiones sintomáticas claramente apreciables y detectables por cualquier persona no especializada.

La tipología a partir de las lesiones o síntomas de los fallos en una cimentación, es la siguiente:

- **Asientos uniformes o diferenciales.**
- Levantamientos.
- Desplomes.

- Giros.
- Cedimiento de soleras.
- Desplazamientos.
- Degradaciones de los materiales componentes por el ataque del medio.
- Colapsos parciales o totales.

Las fisuras y grietas son, casi sin lugar a dudas, los primeros síntomas de algún fallo o problema en la cimentación. Son las primeras en aparecer seguidas, tarde o temprano, por otras sintomatologías. Al estudiar grietas y fisuras producidas en una edificación, hemos de hacer las siguientes consideraciones:

- Su situación y su forma.
- Hacia dónde se abren o se cierran.
- Si las partes a los costados de la grieta o fisura conservan el mismo plano, o bien una baja más que la otra, o incluso si se registra una pérdida de la verticalidad.
- Si está o no estabilizada, o sea, si sigue creciendo o no.

5.2.1 ASIENTOS.

Asiento es el movimiento más común de un edificio afectado por fallos en su fundación. Se define por asiento o asentamiento, la consolidación bajo carga de un suelo. Esta consolidación dependerá del tipo de suelo y, por tanto, de la deformación máxima a asumir por éste, y del tiempo necesario para alcanzar la misma.

Los asientos tienen una sintomatología típica en las grietas o fisuras que puedan aparecer tanto en estructuras de muros de carga como en estructuras reticuladas de madera, acero u hormigón armado.

Por lo que hace a los edificios con estructura y con cerramientos de materiales de comportamiento pétreo (piedra, mahón, bloque de mortero) y a la vez homogéneos, las lesiones típicas son coincidentes con las líneas isostáticas de compresión. Esto nos permitirá, según la situación y la dirección de la lesión, determinar qué tipo de asentamiento la ha provocado.

Por otro lado, los asentamientos en estructuras reticuladas se traducirán en deformaciones y roturas de los nudos. Depende de si la estructura está planteada de forma isostática o hiperestática y del tamaño de la misma, que estas lesiones puedan ser de menor o mayor envergadura.

Cuando los asentamientos son de recorrido corto, la sollicitación que predomina es el esfuerzo cortante, pero si los asentamientos son de recorrido largo los esfuerzos normales son la sollicitación predominante.

Se deben distinguir los tipos de asentamientos: los de conjunto, uniformes o totales, y los diferenciales o parciales.

Asiento diferencial.

Producidos en zonas localizadas del edificio, son los más problemáticos, ya que, al quedar parte de los cimientos sin el apoyo suficiente, el edificio debe deformarse y acoplarse a la nueva forma de sustentación. Generalmente, la estructura no tolerará esta deformación y se producirá la rotura, manifestada en grietas y fisuras.

No se debe confundir las grietas y fisuras producidas por los asentamientos con las producidas por los desplazamientos. Los asentamientos son deformaciones verticales, mientras que los desplazamientos son deformaciones horizontales. Sin embargo, no se debe descartar la posibilidad de que ambos movimientos se produzcan simultáneamente.

En general, por la carga de trabajo de un suelo es una ciencia con cierto grado de imprecisión, hace que los asentamientos sean prácticamente imposibles de evitar, aunque sí se pueden predecir. Sobre estas predicciones trabajan tanto los estudios de los suelos como los cálculos estructurales.

ESTRUCTURA	SUELO	ASIENTO
Obras monumentales de estructura muy rígida (piedra)	Arenas Arcillas y limos	12 mm 25 mm
Estructuras hiperestáticas de hormigón y de acero con cerramientos rígidos	Arenas Arcillas y limos	30 mm 50 mm
Estructuras isostáticas de hormigón y de acero y cerramientos flexibles Muros de obra de fábrica	Arenas Arcillas y limos	50 mm 75 mm

LÍMITES DE ASIENTO DE ACUERDO CON LA TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA Y CON EL TIPO DE SUELO

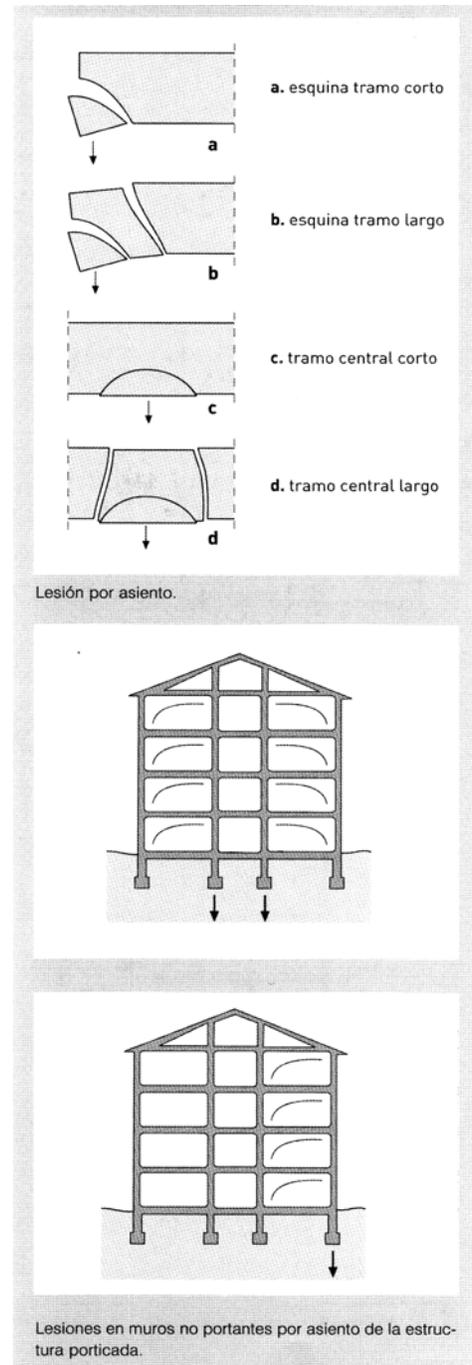
Por ejemplo así se explica que cuando tenemos dos zapatas de distintas medidas que transmiten igual presión sobre el suelo donde descansan, la mayor experimentará el descenso más acusado. Por lo tanto, si a nivel estructural no se han tomado las medidas pertinentes, los asentamientos diferenciales implicarán grietas importantes en la construcción.

Los asentamientos diferenciales pueden exhibir aspectos distintos:

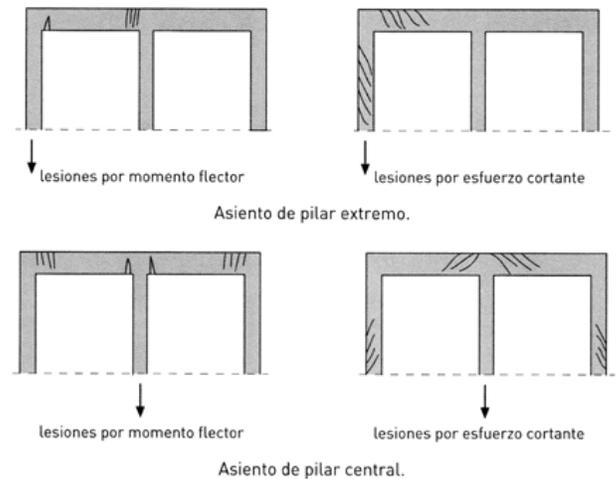
- Fisuras inclinadas en estructuras débiles (muros de ladrillo, por ejemplo)
- Abertura de las juntas en estructuras rígidas (la junta entre dos estructuras de hormigón armado se va ensanchando hacia arriba).
- Ante la posibilidad de asentamientos diferenciales caben dos soluciones que eviten las fisuras:
- Emplear estructuras ligeras como, por ejemplo, una estructura metálica. Si bien con esta medida no se eliminan los asentamientos diferenciales, por lo menos se limitan sus efectos.
- Concebir estructuras rígidas y resistentes que eviten el asiento de un apoyo respecto a otro, cosa que se consigue conectando los puntos de apoyo de la fundación por vigas de reparto poco deformables.

Asiento de conjunto.

No hay que olvidarse que la construcción se comportará finalmente como una cimentación única, más o menos pesada, y por lo tanto, causante de un asiento de conjunto.



Si la capa compresible del suelo tiene espesor constante y la construcción no es más pesada en un extremo que en otro, es decir, si el centro de gravedad de las cargas está cerca del centro de gravedad de los cimientos, el edificio se asentará regularmente sin perder su verticalidad. En caso contrario, se producirá un asiento parcial (diferencial) y el edificio perderá su perpendicularidad con respecto al suelo.



Asimismo, toda construcción está unida al exterior por redes de canalización de servicios que, de sufrir asientos, se supondrán la aparición de problemas relativos a esto.

Desconocer el comportamiento de los terrenos de cimentación tiene consecuencias graves y se presenta bajo diversos aspectos. Estos aspectos son los siguientes:

- Olvidar el problema de los asientos, prestando atención únicamente a la carga de trabajo del suelo, conduce a la ausencia de estudios geotécnicos y la falta de interés por la presencia de capas de terreno compresibles.
- La influencia de las tierras de relleno.
- Olvidar que el terreno arcilloso y compacto sobre el que se construye en periodo seco, puede modificar sus características por posibles intervenciones del agua, a no ser que se tomen precauciones.
- Olvidar que las zapatas aisladas y los pilotes aislados no ejercen solicitaciones en igual espesor de suelo que las zapatas próximas o agrupaciones de pilotes (suma de cargas).

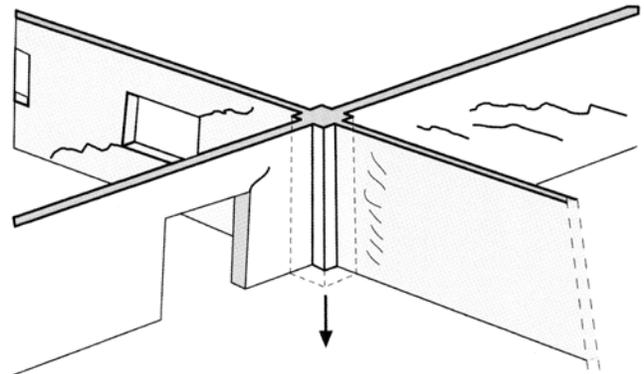


5.2.2 SINTOMATOLOGÍA DE ASIENTOS.

Las grietas y fisuras son las primeras manifestaciones de los asientos. Su interpretación es fundamental para saber qué está sucediendo y, por lo tanto, para encarar las tareas de reparación.

Cada grieta o fisura y el conjunto de ellas en general, responden a patrones detectables según el material base sobre el que se producen, su ubicación en la edificación, su dirección y forma.

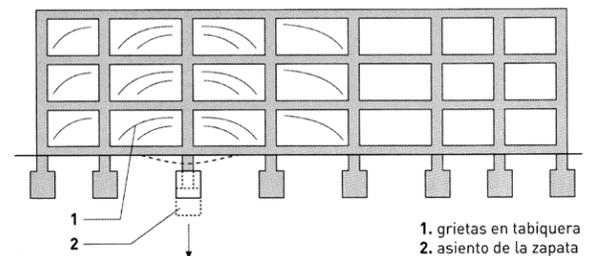
De esta manera, es posible realizar una cartografía o descripción precisa característica de las probables aberturas con las que nos podemos encontrar frente a una cimentación con problemas que vayamos a recalzar.



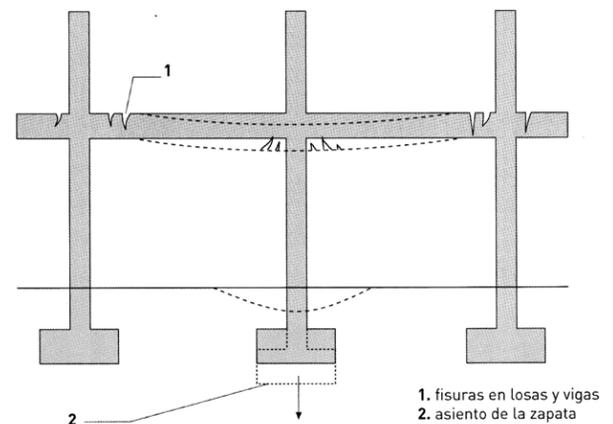
Asiento en muros o cerramientos tradicionales.

Si en muros de cierta longitud existen fallos en su zona central, ésta se quedará parcialmente descolgada, funcionando el muro en esa zona como una viga que no admite apenas tracciones. Se romperá, en consecuencia, allí donde las tensiones de tracción producidas superen el escaso límite admisible para las obras de fábricas.

Los diferentes problemas de cimentación que afectan a muros de carga, con o sin hueco, dan una tipología de grietas que no ofrece lugar a dudas. Si las fábricas son de mala calidad, construidas con morteros pobres y con una traba deficiente, las grietas pueden llegar a ser verticales por el fácil deslizamiento del muro ante la falta de apoyo.



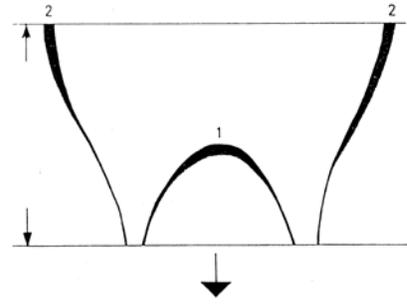
Grietas en tabiquera por asiento de un pilar en pórticos de hormigón armado.



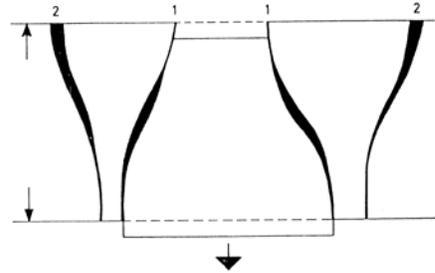
Fisuras en vigas continuas de hormigón armado por asiento de un pilar.

Asiento central corto.

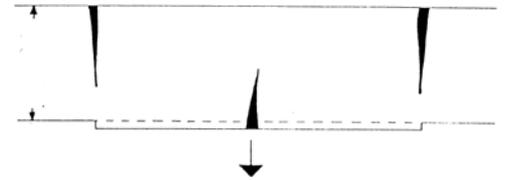
Comentario: La grieta parabólica (1) es la primera en aparecer. Las grietas (2) no se demuestran hasta que el fenómeno está muy avanzado.

Asiento central largo.

Comentario: Las grietas (1) pueden desorientar al observador al tener doble curvatura y al ser más gruesas en el centro que en los extremos. Las grietas (2) pueden aparecer o no, dependiendo de lo avanzado de la deformación.

Asiento central muy largo.

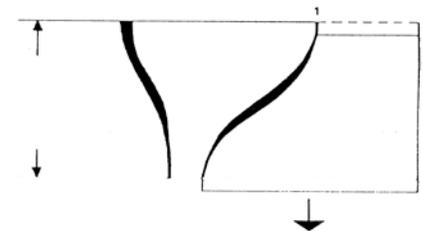
Comentario: Es poco frecuente y sólo puede darse en edificaciones lineales (bloques) de gran longitud.

Asiento extremo corto.

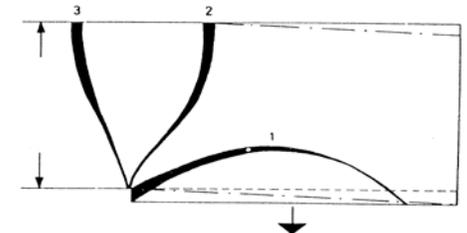
Comentario: La grieta (2) puede no aparecer si estamos al principio del fenómeno.

Asiento extremo largo.

Comentario: La grieta (1) de las grafiadas, puede ser más gruesa en el centro que en los extremos, lo cual es capaz de ser origen de errores en la determinación de su causa.

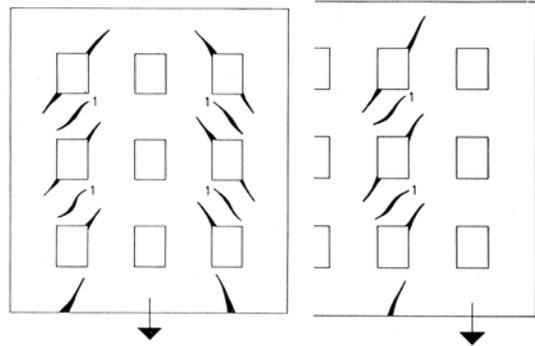
Asiento extremo muy largo.

Comentario: Puede presentarse una grieta parabólica a la manera de las de cedimiento central (1) por efecto de un apoyo anormal de una parte de muro que se asienta.



Asentamiento central y extremo en muro con huecos.

Comentario: La existencia de las grietas (1) depende del tamaño de los huecos. En los casos normales de ventanas próximas al metro de ancho y de altura de 1,3 mts. aprox. las fisuras diagonales indicadas no aparecen hasta que el asiento es considerable.

**Asiento central y en extremo en muros con elementos estructurales incluidos.**

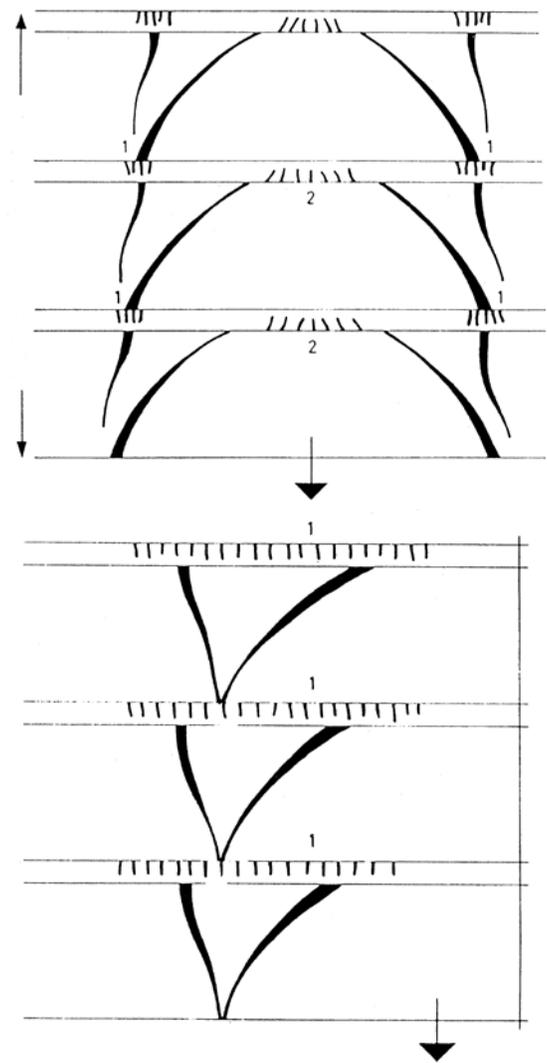
Comentario: La fisuración 1 y 2 del zuncho se origina por la aparición de esfuerzos de flexión sobre el mismo.

Las estructuras de hormigón armado son, en la mayoría de los casos, monolíticas, con pórticos de vigas, pilares y forjados continuos.

El cedimiento de una zapata produce unos esfuerzos excepcionales en la estructura que, por su continuidad, repercuten en toda ella, dando lugar a tensiones en determinadas secciones que no las toleran, lo que origina la aparición de fisuras.

Comentario: Las grietas del zuncho aparecen por efecto de la existencia de esfuerzos de flexo-tracción sobre el mismo.

También pueden aparecer grietas de aplastamiento del hormigón en la zona comprimida de la viga o producirse en una columna la rotura frágil por pandeo o excesivo esfuerzo de corte.



5.2.3 CAUSAS MAS FRECUENTES DE FALLOS EN CIMENTACIONES.

Este apartado trata específicamente sobre las causas más habituales de los fallos en cimentaciones.

Edificios colindantes construidos en distintos momentos.

Una vez concluida una obra, el terreno que se halla bajo la cimentación tarda más o menos tiempo en asentarse definitivamente.

Los suelos permeables (arenas y gravas) se asientan casi instantáneamente y las arcillas, muy poco permeables, pueden tardar un año o incluso más.

Por lo tanto, si se construye un edificio unido a otro levantado con anterioridad, el efecto de asentamiento del suelo bajo la acción de las cargas del nuevo puede, por interacción, provocar el descenso del terreno en que descansan los cimientos del edificio existente con consecuencias negativas.

Un error ampliamente extendido creer que basta con prever una junta de asentamiento entre ambos edificios para evitar cualquier problema. La cuestión es más compleja, y es suficiente que la nueva cimentación discurra paralela a lo largo de la otra para que se produzcan fisuras en paredes y tabiques contiguos a la medianera.

Si la edificación más antigua tiene una cimentación superficial que descansa en un terreno compresible, existen dos planteamientos:

- Cimentar el muro limítrofe lo más lejos posible de la edificación adyacente, medida que influye en aspectos técnicos y económicos, dado que la parte del edificio más allá de los cimientos queda falta de apoyo o en voladizo.
- Cimentar mediante pilotes sin conexión alguna con el edificio antiguo.

Daños por cimentación heterogénea de una construcción.

En el ámbito de las construcciones de cierta envergadura como construcciones de menor importancia, es frecuente que algunas posean sus cimentaciones a cotas por debajo de otras, de manera que se encuentren suelos de distinta naturaleza.

Es posible que haya edificios de gran carga con poca capacidad de deformación, que requieren cimentaciones profundas si el terreno superficial es de baja calidad.

También es posible que haya edificios muy ligeros, poco rentables de cimentar en profundidad, susceptibles de descansar en niveles superficiales si se toman algunas precauciones elementales.

De cualquier manera, es fundamental que distintas construcciones haya una total independencia para evitar presiones sobre las cimentaciones que puedan provocar el asiento parcial de alguna de ellas.

Edificaciones como sótanos en parte de su planta, construcciones en terreno en pendiente, edificios con su carga repartida de manera poco uniforme son parte de la lista de construcciones que requerirán diferentes tipos de cimentaciones.

Las dimensiones de tales obras permiten, algunas veces, la inclusión de juntas. Los riesgos de asentamientos diferenciales se reducen elevando la rigidez de la estructura.

Daños provocados por los rellenos.

Los materiales de relleno pueden dar origen a dos tipos de daños:

- Problemas que aparecen por no tomar las debidas precauciones frente a la compresibilidad y, eventualmente, la heterogeneidad del material de relleno que se utilizará como suelo de cimentación.
- Sobrecarga del terreno natural por el peso del relleno depositado sobre él. Por consiguiente, si el suelo es compresible es probable que resulten asentamientos en las cimentaciones vecinas. Si el terreno natural es de escasa calidad (limo, arcilla blanda) pueden desencadenar también movimientos de deslizamiento.

Ejecutar cimentaciones sobre vertedero conlleva siempre un riesgo, más aún cuando:

- el relleno es reciente
- el relleno es de espesor variable
- la cimentación se realiza de forma parcial sobre el relleno, es decir, cimentación heterogénea.
- El relleno está superpuesto a terrenos compresibles e inestables

Las grandes edificaciones construidas sobre vertedero se asentarán tanto más cuanto mayor sea el espesor de este último. Si el vertedero es de espesor variable cabe esperar asentamientos diferenciales.

Es posible concluir que la construcción en suelos muy compresibles es del todo desaconsejable por la sobrecarga que se aplica. Las capas de vertido pueden desencadenar el hundimiento:

Las cimentaciones superficiales, cuando descansan sobre una capa compresible sobrecargada por el relleno o cuando superpuestas a una capa resistente, ésta hace otro tanto sobre otra más blanda.

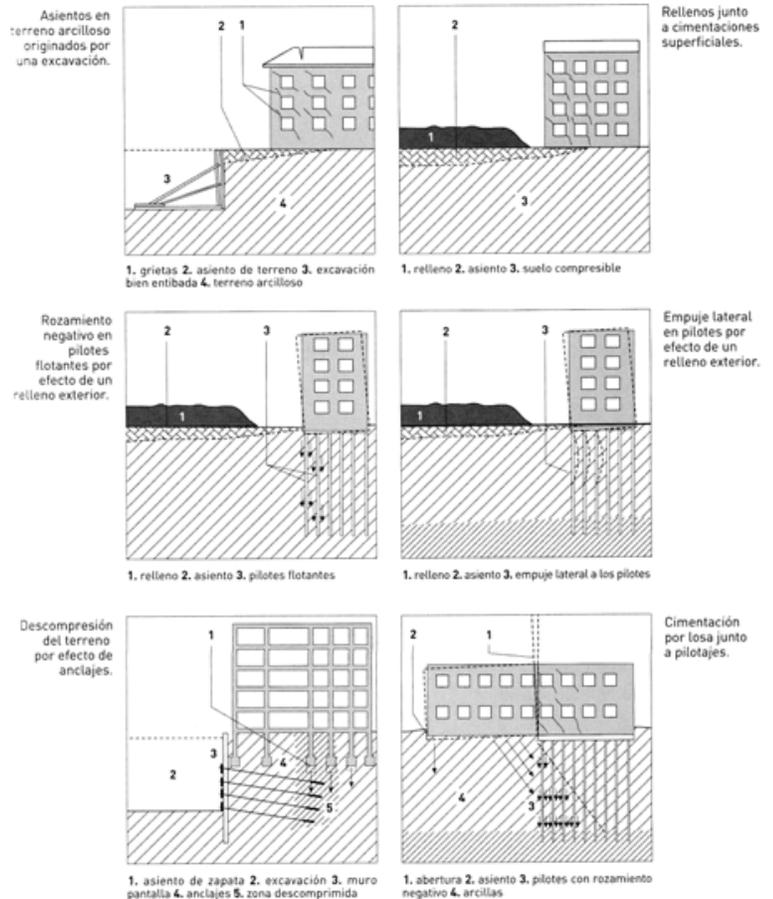
Las cimentaciones profundas, cuando están ancladas a una capa resistente superpuesta a otra compresible.

Estos asentamientos, además, pueden tener consecuencias indirectas en los pilotes en forma de rozamiento negativo, el cual describe a continuación.

Rozamiento negativo.

Si la capa en que se ancla el pilote es suficientemente compacta y gruesa, el rozamiento negativo no tiene otro efecto, por general, que la reducción del coeficiente de cálculo, sin que por ello se produzcan asentamientos apreciables.

Por el contrario, si la capa compacta sustentante no presenta suficiente espesor y se extiende sobre suelos compresibles, la sobrecarga de los pilotes, debido a este "arrastre" o rozamiento negativo y añadida al peso propio del relleno, es capaz de provocar al descenso de la capa resistente o la rotura de los pilotes por el movimiento de las capas inferiores.



Desplazamiento lateral.

Este fenómeno es menos conocido por los constructores que el rozamiento negativo y a menudo genera perturbaciones importantes.

Se comprende, finalmente, que la construcción rellenos es viable sin excesivos riesgos cuando el relleno es homogéneo y de espesor constante en suelo compacto, y las construcciones que se levantan sobre ellos tienen dimensiones en planta que predominan respecto a su altura y cuya estructura sea suficientemente rígida.

Daños provocados por el agua.

La variación del contenido de humedad hace que cambien las características del suelo, cuya alteración por este motivo puede producir daños en el edificio por asentamientos o empujes no previstos.

El origen de la variación del contenido de humedad de un suelo puede provenir de:

- Cambios en el nivel freático debido a la influencia de nuevas construcciones en el entorno.
- Roturas o escapes de conducciones subterráneas de agua o desagües, originados en el propio edificio o en las cercanías del mismo.
- Ejecución o eliminación de pozos de bombeo o drenajes
- Riego excesivo del terreno del entorno o la existencia de arbolado cuando tenemos cimentaciones sometidas sobre arcillas.
- Riadas e inundaciones

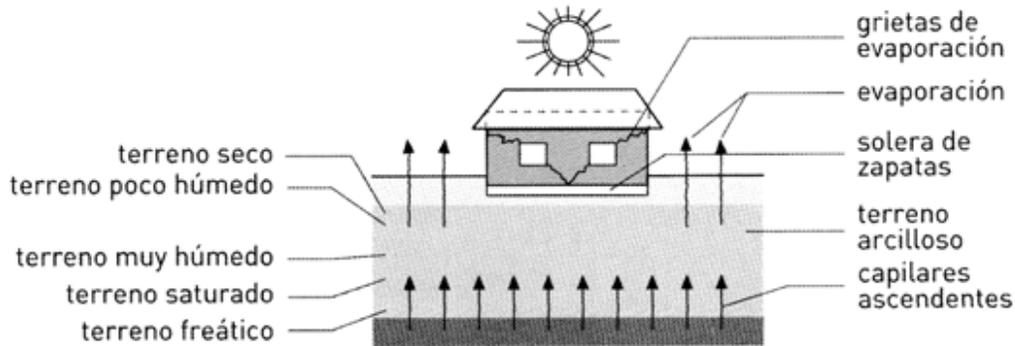
A continuación, y teniendo en cuenta al agua como factor de alteración del terreno, se enumeran algunas circunstancias desfavorables para las cimentaciones de los edificios.

Expansión y contracción de arcillas.

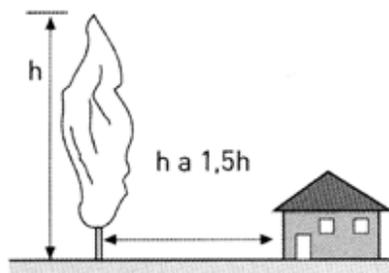
Los cambios de contenido de agua en una capa gruesa de arcilla se traducen en:

- Dilataciones cuando aumenta el contenido de agua.
- Asentamientos cuando disminuye el contenido de agua.

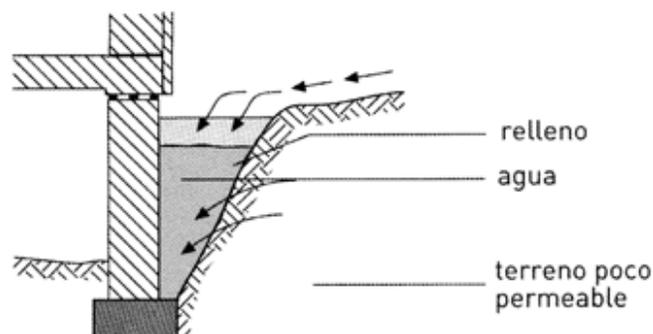
La desecación del suelo por las raíces del arbolado que se planta cerca de los edificios es otro problema a tener en cuenta.



La evaporación de terrenos de arcillas expansivas produce en cimentaciones superficiales daños por asientos diferenciales y subpresión. El contenido de humedad del terreno es mayor debajo de la edificación donde no se produce la evaporación.



Las raíces de los árboles consumen humedad del terreno por lo que hay que mantener distancias mínimas con respecto a la edificación.



En los suelos poco permeables, el agua se acumula en el relleno de la cimentación si éste es permeable. En estos casos siempre es necesario prever un sistema de drenaje.

Modificación de las condiciones de resistencia del suelo.

La afluencia de aguas modifica sustancialmente las condiciones de resistencia de los suelos de granulometría fina. Si el contenido de agua de una arcilla aumenta, su cohesión y ángulo de rozamiento interno se reducen en proporciones importantes y esta pérdida de resistencia puede adoptar distintos aspectos.

Agua de escorrentía: es un caso típico y característico de las construcciones que se hallan en zonas de abundantes aguas superficiales como pueden ser los terrenos en pendiente.

Las aguas que se escurren van a parar irremediablemente al pie de la cimentación, especialmente si el relleno de la excavación es permeable, circunstancia habitual ya que es lugar escogido para verter residuos de cantería.

La imprevisión de dispositivos de evacuación de esta agua, por lo tanto, conduce a su estancamiento en la cubeta que forma la excavación, perjudicando de las siguientes formas:

- El agua puede inundar el sótano al atravesar los muros o pasar bajo las zapatas.
- El agua reblandece el suelo y merma su capacidad portante, por lo que la cimentación descenderá y no siempre de forma pareja.
- Los escapes y roturas de conductos de aguas negras son con frecuencia otra razón de la saturación hídrica de los terrenos de cimentación.
- Las consecuencias de estas pérdidas sólo son visibles una vez que el accidente ha ocurrido, y dentro de las causas del mismo se pueden mencionar:
- La incapacidad de los conductos subterráneos de soportar sin romperse los asentamientos del relleno de la zanja de cimentación.
- La intolerancia de las tuberías de absorber cualquier movimiento del hormigón de las cimentaciones, cuando son empotrados en unos u otros.

Recomendaciones:

- Lastrar la construcción con una solera de gran peso, o bien fijarla con tirantes verticales o anclajes profundamente anclados.
- Prevenir la inundación de los sótanos, a partir de cierto nivel que alcance la napa subterránea, dotándolos de orificios de desagüe practicados a alturas apropiadas.

- Evitar este levantamiento no sólo en edificios sino también en depósitos enterrados de combustible o agua que, en cuanto estén parcialmente vacíos, se elevan por la subpresión.

Daños causados por heladas.

Cuando un terreno saturado de humedad padece una helada, el agua se convierte en hielo y aumenta su volumen.

Si este fenómeno sucede en terrenos húmedos de constitución granular gruesa (suelos de grava), por lo general sin saturar, entre las partículas hay espacio suficiente para que la expansión se produzca libremente, por lo que el terreno no se esponja y la cimentación no experimenta movimiento.

En cambio, e terrenos de grano fino, donde el agua queda embebida por capilaridad y el suelo sí se encuentra saturado, la expansión del hielo no puede hacerse sin trabas, lo cual separa las partículas y el suelo se esponja.

En cimentaciones ligeras y poco enterradas, en este tipo de suelos, se levantarán con las heladas y descenderán con el deshielo. Para que no sufra no perturbaciones es recomendable que las cimentaciones lleguen a profundidades donde la influencia de la helada sea nula.

Descalces por socavación y erosión.

La circulación de agua no prevista a través del suelo de cimentación originada por roturas de conducciones, escapes o escorrentías subterráneas, producirá en determinados suelos socavaciones, arrastres o erosiones que dejarán descalza la cimentación allí ocurra este fenómeno.

Este tipo de erosión va creando huecos que al llegar a un determinado tamaño colapsan bruscamente con graves efectos para los elementos soportados.

En estos casos generalmente no se detectan estos problemas hasta que se produce el asiento, que puede ser repentino y, como ya se ha dicho, de gran magnitud.

Ataque del medio circundante.

Las cimentaciones también pueden ser objeto de ataques directos que, en un plazo más o menos breve, causan su ruina. La naturaleza del ataque depende tanto de los materiales que compongan la fundación como del medio en el que se hallan insertas. Por ejemplo:

- Pudrición de las cimentaciones de madera
- Corrosión de las cimentaciones de metal
- Degradación de las cimentaciones de hormigón, simple o armado.

Esto puede ocasionar la destrucciones tanto de los pilotes de madera como los metálicos. Y también destruir cimentaciones de hormigón.

Cimentaciones en terreno inestable.

Los problemas más característicos van desde la inestabilidad de laderas hasta los descensos de terreno generalizados. Por lo dicho, entonces, se diferencian problemas a nivel más bien superficial y otros cuyo origen se encuentra a profundidades considerables.

Laderas inestables.

El tipo de movimientos se manifiestan de formas muy diversas en las laderas, aunque las predominantes son las siguientes:

- Deslizamientos lentos en laderas con equilibrio precario provocados, en general, por obras de urbanización, acumulación de edificaciones, fugas de saneamientos, excavaciones para nuevos viales, etc. Suelen afectar a una capa de poco espesor (1 a 3m) y paralela a la superficie.
- Deslizamientos curvos, afectando a masas importantes, con formación de escarpes en cabecera. Suelen darse en taludes arcillosos o margosos, con pendientes fuertes (de 20 a 40°), en los que se producen ascensos anormales del nivel freático o socavaciones al pie por efecto de riadas o fuertes lluvias.
- Desprendimientos de bloques rocosos. En terrenos estratificados horizontalmente es típica la formación de cornisas de caliza, yeso o arenisca al desaparecer, por alteración o erosión, las capas arcillosas subyacentes.

Las soluciones suelen incluir las siguientes medidas:

- Corrección de fugas de agua y drenaje general del talud.
- Estructuras de contención al pie, y a veces también a niveles intermedios, que pueden ser muros tradicionales o mejor si se utilizan pantallas con anclajes o cortinas de pilotes.
- Cosido de bloques rocosos con riesgo de movimientos mediante bulones o anclajes profundos.
- Protección frente a la alteración de capas blandas mediante poliuretanos o fluosilicatos.
- Creación de estribos o contrafuertes de hormigón para apoyo de zonas descalzadas.
- Saneamiento, limpieza y sellado de grietas y fisuras del terreno.

Descensos generalizados.

Estos descensos resultan de los vacíos que se forman de manera natural o por obra del hombre. Estos vacíos se encuentran a medias o grandes profundidades como es el caso de zonas de explotación de canteras, o consolidación de terrenos blandos por extracción de agua, gas o hidrocarburos.

Si la edificación debe llevarse a cabo sobre estos terrenos con problemas de descensos, caben algunas recomendaciones como:

- Cimentar por debajo de las cavidades mediante cimentaciones profundas.
- Rigidizar la estructura para que soporte sin deterioro hundimientos localizados.

Cavidades y galerías

La existencia de galerías, bodegas, criptas, aljibes que sufren un natural proceso de degradación o hundimiento, son causa frecuente de daños en edificios en cascos urbanos más o menos antiguos.

Las soluciones son complicadas y suelen limitarse a una rigidización mediante cosido o arriostrado de muros y zunchado de cimientos de forma que el edificio se mueva monólicamente y se le pueda enderezar mediante gatos una vez que haya cesado el descenso.

A saber:

- Evitar las construcciones demasiado largas o dividir las en bloques separados por juntas dimensionadas con holgura y situadas entre dos muros rígidos.
- Evitar las bóvedas y cúpulas, especialmente las de fábrica de ladrillos.
- Prescindir de ventanas y huecos de grandes dimensiones.
- Prestar suma atención a los anclajes y apoyos de los forjados y vigería.
- Aislar la cimentación del suelo de apoyo mediante una junta horizontal de deslizamiento para evitar los efectos de pandeo del terreno.
- Unir la cimentación horizontalmente para responder a los esfuerzos de tracción que puedan manifestarse en su plano.
- Prever la afluencia de agua en pendientes fuertes y dotar de juntas elásticas a los conductos que lleguen a la edificación.

Errores de proyecto, cálculo y ejecución.

La cimentación insuficiente se trata de un defecto de proyecto poco frecuente donde la superficie de apoyo no alcanza para transmitir la carga del edificio que sostiene.

Esto sucede, por lo general, por errores de cálculo, olvido de algunas sobrecargas en servicio o algún factor extraordinario que no se tuvo en cuenta.

Origen de las lesiones geotécnicas más frecuentes

Debidas a	Consecuencias
No considerar adecuadamente el terreno de apoyo de la cimentación.	Se somete al terreno a una tensión que supera la admisible. Se olvidan en el proyecto sobrecargas de uso que aumentan la tensión en la zapata. La cimentación es escasa Asientos reales mayores de los calculados.
La alteración de la cimentación	Cimentaciones situadas en terrenos agresivos y no protegidas adecuadamente. Cimentaciones no ejecutadas con los materiales y geometrías convenientes. Hormigones situados en suelos o aguas con gran contenido en sulfatos.
La existencia de rellenos	Presencia en toda la parcela de un recubrimiento de rellenos de cierto espesor. Desconocer qué tipo de rellenos fueron aportados. Falta de compacidad uniforme de los rellenos y baja resistencia
La existencia de cavidades	La existencia de cavidades naturales (origen kárstico, disoluciones de yesos) y artificiales (bodegas, minas)

La acción del agua	<p>Erosiones con arrastres importantes de materiales gruesos. Se produce habitualmente en apoyos de puentes.</p> <p>Pérdidas en las redes de saneamientos o abastecimiento en zonas urbanas arrastran finos del terreno y provocan socavones y descalces.</p> <p>Las corrientes de agua en arenas pueden llegar a provocar el sifonamiento de las mismas.</p> <p>El terreno saturado, si es de naturaleza fundamentalmente limosa o arcillosa, reduce su capacidad portante, sus parámetros georresistentes fundamentales: la resistencia al corte, la cohesión y ángulo de rozamiento interno.</p> <p>El ascenso de nivel freático provoca cambios de volumen en terrenos expansivos, subpresiones en cimentaciones superficiales, incrementos de empujes en muros y humedades.</p>
La inestabilidad del terreno	<p>Las excavaciones pueden disminuir los coeficientes de seguridad al deslizamiento y hacer inestable el terreno cuando se efectúan intervenciones en laderas.</p>
Efectos naturales extraordinarios	<p>Terremotos de gran intensidad.</p> <p>Inundaciones con subidas importantes del nivel freático, tormentas costeras.</p>
Construcciones exteriores	<p>Realización y construcción de edificios mas o menos próximos a nuestra estructura.</p> <p>Cuando se efectúan excavaciones próximas para situar sótanos en zonas urbanas se produce una descompresión del terreno que puede provocar asentos y movimientos horizontales de la estructura.</p> <p>El derribo de un edificio para construir otro en su lugar puede producir la eliminación de reacciones y empujes pasivos en los edificios adyacentes.</p> <p>El empleo de maquinaria potente que produce vibraciones en el entorno. El empleo de explosivos, la hinca de pilotes, el empleo de trépanos pueden provocar lesiones.</p> <p>Las losas junto a zapatas implican asentamientos de estas últimas, y las losas junto a pilotes generan empujes horizontales sobre los mismos.</p> <p>La ejecución de sótanos en edificios adyacentes puede generar variaciones en el nivel freático, tanto por efecto pantalla como por achique de agua.</p>
Defectos de ejecución	<p>Durante la ejecución de la cimentación, si no se lleva un control correcto, se pueden producir errores que den lugar a lesiones.</p>
Variaciones en las hipótesis de proyecto	<p>Es el caso de los cambios de uso de los edificios: incremento de las sobrecargas, eliminación de tabiquería y cambio de distribución de pilares.</p> <p>Si los daños proceden de que la cimentación está en mal estado, se adoptará el sistema que mejor se adapte a esa situación.</p> <p>Se debe tener en cuenta que la estructura suele estar en un estado de estabilidad más precario durante la ejecución de los trabajos y que los movimientos no cesarán en el instante de terminarse el recalce, sino que precisarán un cierto período de estabilización y puesta en carga.</p>

5.3 COLOCACIÓN Y CONTROL DE TESTIGOS DE ASENTAMIENTO DEL EDIFICIO AFECTADO Y DE SUS COLINDANTES

5.3.1 DETERMINACIÓN DE LA UBICACIÓN Y MAGNITUD DE LA FISURACIÓN

La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del hormigón de una estructura, se pueden determinar mediante observaciones directas e indirectas, ensayos no destructivos y destructivos, y ensayos de testigos extraídos de la estructura.

1 Observación directa e indirecta – Se deben registrarlas ubicaciones y anchos de las fisuras utilizando un esquema de la estructura. Marcar una grilla sobre la superficie de la estructura puede ser útil para ubicar con precisión las fisuras en el esquema.

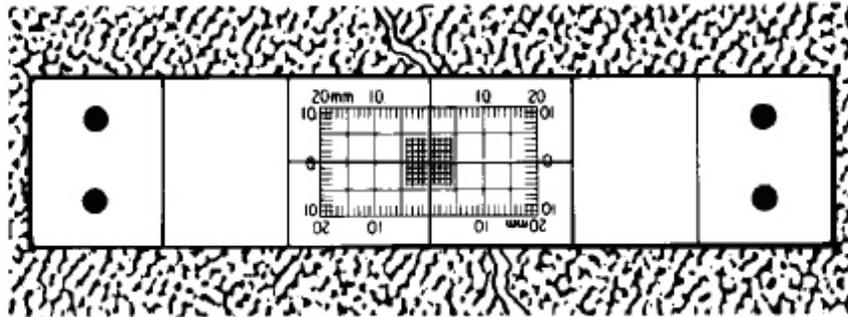
Los anchos de las fisuras se pueden medir con una precisión de alrededor de 0,025 mm utilizando un comparador, que es un pequeño microscopio de mano con una escala en el lente más próximo a la superficie observada (Figura 5.1).



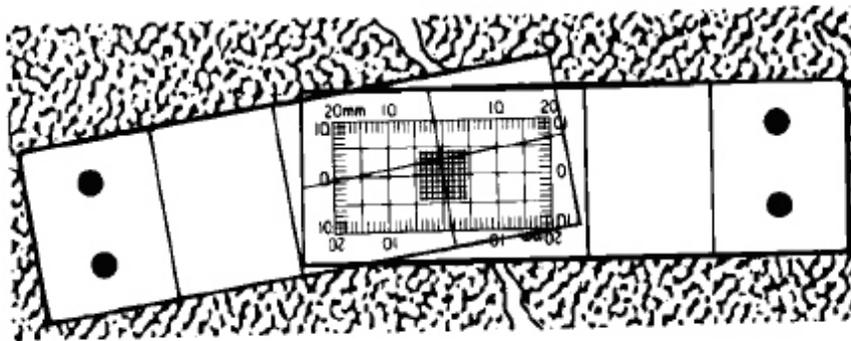
Fig. 5.1 Comprobador para medir anchos de fisura. (Fuente de Edmund Scientific Co.)

Los anchos de las fisuras también se pueden estimar utilizando una tarjeta de comparación, que es una tarjeta con líneas claramente marcadas, cada una de ellas de un ancho especificado. El esquema debe incluir observaciones tales como descascaramientos, armaduras expuestas, deterioros superficiales y manchas de óxido. Las condiciones internas en la ubicación de una fisura específica se pueden observar usando endoscopios flexibles o boroscopios rígidos. El movimiento de las fisuras se puede monitorear mediante indicadores

de movimientos mecánicos, del tipo ilustrado en las Figuras 5.2. El indicador, o monitor de fisuras, ilustrado en la Figura 5.2(a) permite la lectura directa del desplazamiento y rotación de las fisuras.



Monitor recién colocado



Monitor después del movimiento de la fisura

Fig. 5.2(a) Monitor de fisuras. (Fuente de Avongard).

El indicador de la Figura 5.2(b) (Stratton et al., 1978) amplifica el movimiento de las fisuras (en este caso 50 veces) e indica el máximo rango de movimiento durante el período de medición. Los indicadores mecánicos tienen la ventaja de no requerir protección contra la humedad. Si se desea obtener historiales más detallados, existe una gran variedad de transductores (principalmente los transformadores diferenciales de variación lineal) y sistemas de recolección de datos disponibles (desde registradores de cinta hasta sistemas digitales).

Los esquemas se pueden complementar con fotografías que documenten la condición de la estructura en el momento de la investigación.

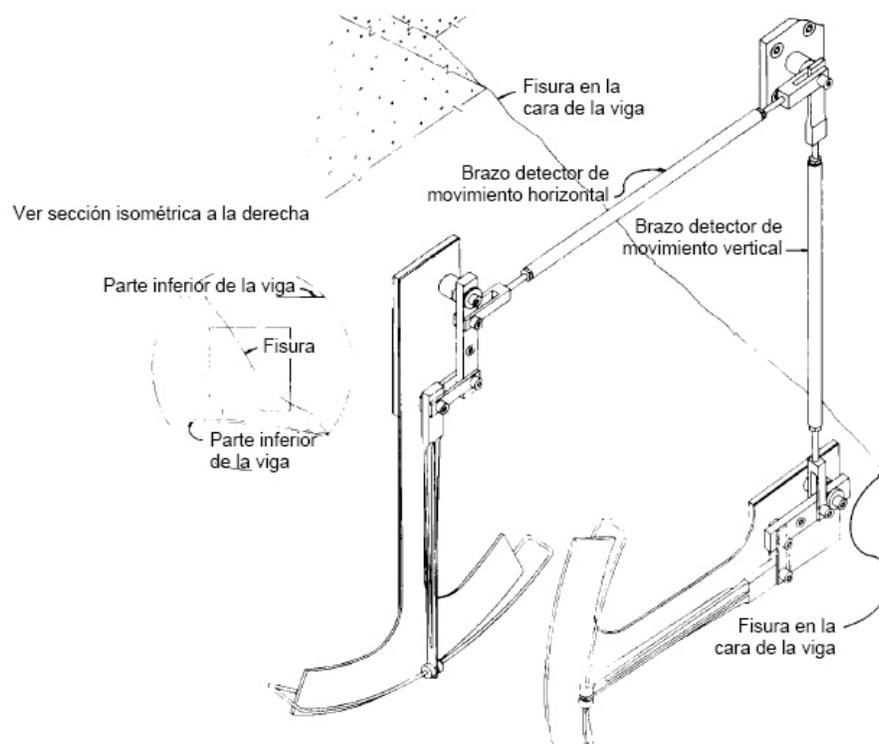


Fig. 5.2 (b) Indicador de movimiento de la fisura. (Fuente de Stratton et al., 1978).

2 Ensayos no destructivos – Se pueden realizar ensayos no destructivos para determinar la presencia de fisuras y vacíos internos y la profundidad de penetración de las fisuras visibles en la superficie. Golpear la superficie con un martillo o usar una cadena de arrastre son técnicas sencillas que permiten identificar la fisuración laminar próxima a la superficie. Un sonido hueco indica la presencia de una o más fisuras debajo de la superficie y paralelas a la misma. La presencia de armaduras se puede determinar usando un pacómetro (Figura 5.3) (Malhotra, 1976).



Fig. 5.3-Pacómetro (localizador de armaduras)(Fuente de James Instruments)

Se pueden conseguir diversos pacómetros, cuya capacidad va desde la mera indicación de la presencia de acero hasta aquellos que se pueden calibrar y le permiten al usuario experimentado una mejor determinación de la profundidad y el tamaño de las barras de armadura. Sin embargo, en algunos casos puede ser necesario retirar el recubrimiento de hormigón (a menudo usando taladros o cinceles) para identificar los tamaños de las barras o para calibrar las mediciones del recubrimiento, especialmente en zonas con congestión de armaduras. Si se sospecha que la corrosión es una causa de fisuración, la manera más sencilla de investigar la corrosión es retirar parte del hormigón para poder observar el acero directamente. El potencial de corrosión se puede detectar midiendo potenciales eléctricos usando una media celda de referencia adecuada. La más usada es una media celda de sulfato de cobre-cobre; su uso también requiere acceso al acero de las armaduras.

Con personal adecuadamente capacitado y una correcta evaluación es posible detectar fisuras usando equipos de ensayo ultrasónicos no destructivos (ASTM C 597). La técnica más común son los ensayos de transmisión pasante utilizando equipos disponibles comercialmente (Malhotra y Carino, 1991; Knab et al., 1983). Un pulso mecánico es transmitido a una cara del elemento de hormigón y es recibido en la otra, como se ilustra en la Figura 5-4.

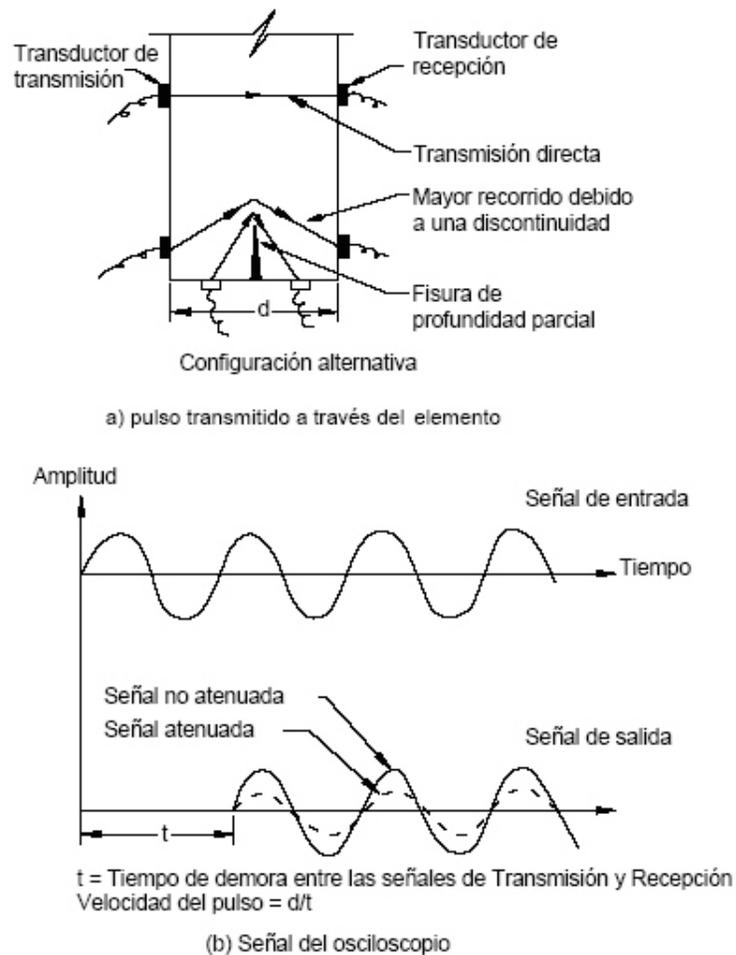


Fig. 5.4-Ensayo ultrasónico, técnica de transmisión pasante (Fuente de Avongard)

El tiempo que tarda el pulso en atravesar el elemento se mide electrónicamente. Si se conoce la distancia entre los transductores de transmisión y recepción se puede calcular la velocidad del pulso. Si no es posible acceder a caras opuestas de un elemento, los transductores se pueden ubicar sobre la misma cara [Figura 5.4(a)]. Aunque esta técnica es posible, los resultados no se pueden interpretar de manera sencilla y directa dado que puede haber un cambio significativo en la velocidad de pulso medida, si una discontinuidad interna aumenta el recorrido de la señal. Generalmente, cuanto mayor sea la velocidad del pulso mayor será la calidad del hormigón. La interpretación de los resultados de los ensayos de velocidad de pulso mejora considerablemente con el uso de un osciloscopio que permita una representación visual de la señal medida [Figura 5.4(b)].

Algunos equipos proveen sólo una lectura digital del tiempo de recorrido del pulso, sin display osciloscópico. Si no llega ninguna señal al transductor, esto significa que hay una discontinuidad interna importante, como una fisura o vacío. Se puede obtener una indicación de la magnitud de la discontinuidad realizando lecturas en una serie de posiciones sobre el elemento.

Los equipos de ultrasonido deben ser operados por personas capacitadas, y los resultados deben ser evaluados por una persona con amplia experiencia en el tema, ya que la humedad, las armaduras y los elementos empotrados podrían afectar los resultados. Por ejemplo, si hay fisuras completamente saturadas, en general los ensayos ultrasónicos no serán efectivos. En algunos casos es difícil discernir entre un grupo de fisuras muy próximas entre sí y una única fisura de gran tamaño.

Una alternativa a los ensayos de transmisión pasante es la técnica pulso-eco, en la cual se usa un transductor simple para enviar y recibir ondas ultrasónicas. Ha resultado difícil desarrollar un ensayo pulso-eco que sea práctico para el hormigón. Se han desarrollado sistemas tipo transmisorreceptor que usan transductores independientes para transmitir y recibir (Alexander, 1980). Las investigaciones de Malhotra y Carino (1991) presentan más información sobre el método pulso-eco y otros métodos basados en la propagación de ondas. Sansalone y Carino (1988, 1989) han avanzado significativamente en el uso de técnicas de propagación de ondas para detectar fallas en el hormigón mediante la técnica pulso-eco. Se genera un pulso mecánico impactando en una cara del elemento como se ilustra en la Figura 5.5.

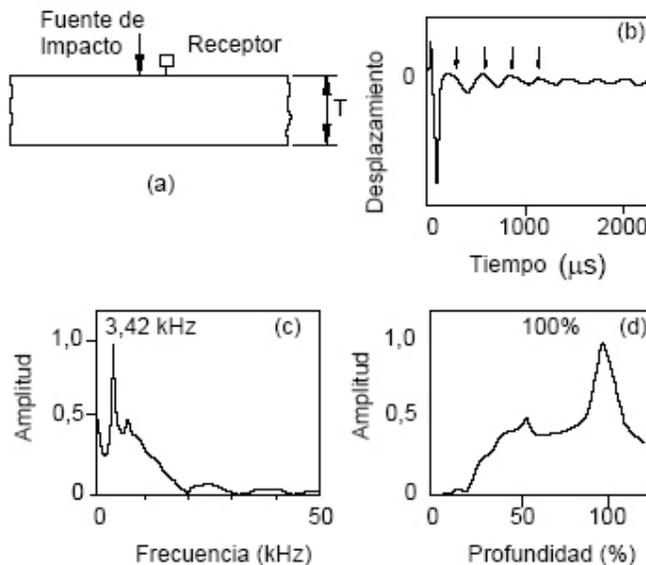


Fig. 5.5 – Respuesta pulso-eco de una placa sólida: a) esquema de configuración del ensayo; b) forma de onda de desplazamiento; c) espectro de amplitud; y d) espectro de amplitud normalizado (Fuente de Avongard)

La onda se propaga a través del elemento, se refleja en un defecto u otra superficie del elemento y finalmente es recibida por un transductor de desplazamiento ubicado cerca del punto de impacto. La Figura 5.5(b) muestra una onda en el dominio del tiempo recibida por el transductor. Se intercala una condición de resonancia en el elemento, entre los bordes del mismo o entre un borde y el defecto. Analizando el contenido de frecuencia de la onda en el dominio del tiempo [Figura 5.5(c)], la frecuencia asociada con la resonancia aparece como una amplitud pico. En el caso de la Figura 5.5(a), el pico es el asociado con la frecuencia del espesor [ver Figura 5.5(d)]. Si existe alguna falla interna se observará un importante pico de amplitud en las reflexiones correspondientes a la profundidad de la falla en la frecuencia de la profundidad de la falla asociada. También se pueden usar radiografías para detectar las discontinuidades internas. Existen equipos de rayos X y de rayos gama (Malhotra y Carino, 1991; Bungey, 1990). Los procedimientos son más adecuados para detectar planos de fisuración paralelos a la dirección de la radiación; resulta difícil discernir planos de fisuración perpendiculares a la radiación.

Los equipos de rayos gama son menos costosos y relativamente más portátiles que los equipos de rayos X, y por lo tanto parecen adaptarse mejor a los ensayos in situ. Un uso importante de los ensayos no destructivos es para detectar aquellas partes de la estructura que requerirán un estudio más detallado, que puede incluir la extracción de testigos para ensayo.

3 Ensayos en testigos de hormigón – Se puede obtener información importante extrayendo testigos de zonas seleccionadas de la estructura. Los testigos y sus perforaciones ofrecen la oportunidad de medir con precisión el ancho y la profundidad de las fisuras. Además, se puede obtener una indicación de la calidad del hormigón mediante ensayos de resistencia a la compresión, aunque para determinar la resistencia del hormigón no se deben utilizar testigos fisurados.

Un análisis petrográfico del hormigón fisurado permite identificar las causas materiales de la fisuración, tales como reactividades alcalinas, daño por ciclos de congelamiento, fisuración de borde, presencia de partículas de agregado expansivas, daños relacionados con incendios, retracción y contracción. La petrografía también permite identificar otros factores

que pueden estar relacionados con la fisuración, tales como la relación agua-cemento, el volumen relativo de pasta y la distribución de los componentes del hormigón. A menudo la petrografía sirve para determinar la edad relativa de las fisuras e identificar depósitos secundarios en superficies de fractura, los cuales afectan los programas de reparación.

Los ensayos químicos para detectar la presencia de cloruros excesivos indican el potencial de corrosión de las armaduras embebidas.

4 Revisión de planos y datos constructivos – Se debería revisar el diseño estructural y la disposición de las armaduras originales, u otros planos que permitan confirmar que el espesor y la calidad del hormigón, junto con las armaduras existentes, satisface o supera los requisitos de resistencia y serviciabilidad indicados en él, o los códigos de edificación aplicables. Se debería prestar particular atención a la revisión detallada de las cargas actuales y su comparación con las cargas de diseño. Para calcular las tensiones de tracción inducidas por las deformaciones del hormigón (fluencia lenta, retracción, temperatura, etc.) se deberían considerar las configuraciones del hormigón, condiciones de vínculo y presencia de juntas de construcción y de otros tipos. Se debería prestar particular atención a las fisuras que se desarrollan paralelas a losas armadas en una sola dirección, fundamentalmente apoyadas sobre vigas, pero que también cargan las vigas principales que soportan dichas vigas.

5.3.2 SELECCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE REPARACIÓN

En base a una cuidadosa evaluación de la magnitud y las causas de la fisuración es posible seleccionar procedimientos para lograr uno o más de los siguientes objetivos:

1. Restablecer y aumentar la resistencia.
2. Restablecer y aumentar la rigidez.
3. Mejorar la funcionalidad.
4. Lograr impermeabilidad.
5. Mejorar la apariencia de la superficie de hormigón.
6. Mejorar la durabilidad.
7. Impedir que se desarrolle un ambiente corrosivo en las armaduras.

Dependiendo de la naturaleza de los daños se puede seleccionar un solo método de reparación o varios. Por ejemplo, se puede restablecer la resistencia a la tracción a través de

una fisura inyectando resina epoxi u otro agente adherente de alta resistencia. Sin embargo, puede ser necesario proveer resistencia adicional agregando armaduras o usando postesado.

Si no se anticipa mayor fisuración, se puede usar solamente una inyección de resina epoxi para restablecer la rigidez flexional.

Las fisuras que ocasionan fugas en estructuras para almacenamiento de agua u otros líquidos se deben reparar, a menos que la fuga se considere de poca importancia y exista evidencia que indique que la fisura se está autocurando. Las reparaciones para detener fugas pueden ser complicadas si es necesario efectuarlas mientras la estructura está en servicio.

Es posible que se desee reparar las fisuras del hormigón por motivos puramente estéticos. Sin embargo, las ubicaciones donde están las fisuras pueden ser visibles aún después de aplicar procedimientos cosméticos, y es probable que se requiera algún tipo de recubrimiento sobre la totalidad de la superficie.

Para minimizar futuros deterioros debidos a la corrosión de las armaduras, se deben sellar las fisuras expuestas a ambientes húmedos o corrosivos.

EJECUCIÓN DE MICROPILOTES



- OPERACIONES
- PERFORACIÓN DEL TALADRO DEL MICROPILOTE
- COLOCACIÓN DE LA ARMADURA
- INYECCIÓN DEL MICROPILOTE
- EJECUCIÓN DE MICROPILOTES DE EJE NO VERTICAL
- CONEXIÓN DE LOS MICROPILOTES CON LA ESTRUCTURA
- PROTOCOLO DE EJECUCIÓN Y PARTES DE TRABAJO

6 EJECUCIÓN DE LOS MICROPILOTES

6.1 OPERACIONES

La ejecución de un micropilote comprende la realización de las siguientes operaciones:

- Replanteo.
- Perforación del taladro del micropilote (fase 1,2 y 3).
- Colocación de la armadura (fase 4).
- Inyección del micropilote (fase 5).
- Conexión con la estructura o con el resto de los micropilotes (fase 6).

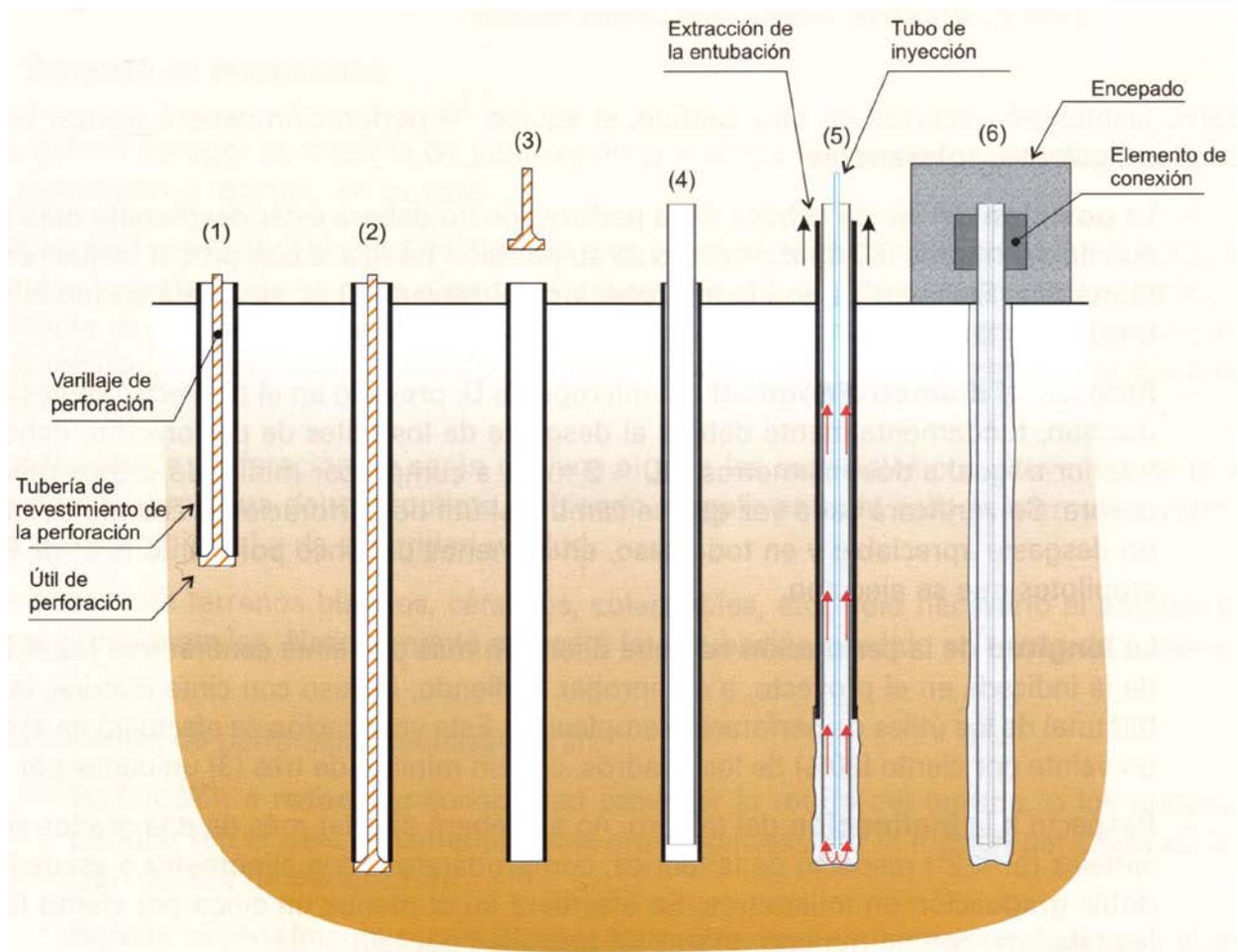


Fig. 6.1. –Secuencia típica de construcción de un micropilote
(Fuente Instrucción de Construcción)

Para poder realizar todas estas operaciones se deberá preparar una plataforma de trabajo, que reúna una serie de condiciones, que permita efectuarlas adecuadamente:

-Deberá contar con la superficie necesaria para ubicar en ella tanto el material mencionado en el apartado 3 como el equipamiento y maquinaria precisa para la ejecución de los micropilotes. Como:

- Maquinaria
- mezcladora
- Contenedor
- Armadura
- Entubaciones, etc.

-Esta plataforma tendrá contar con una capa de drenaje para poder filtrar y recoger el agua que se utiliza, normalmente, en el proceso de ejecución. Para esto se suele echar una capa de zahorra para que sirva de drenaje.

-Se tiene que prever una acometida de agua suficiente para la ejecución, y en la mayoría de casos un contador especial (suministrado por la empresa de aguas que corresponda) debido al caudal que se necesita para la ejecución. Así como de una red de saneamiento suficiente.



Foto 6.1 – Foto en la que está procediendo al recalce de una cimentación mediante micropilotes, y en la que aparece en primer plano, el contenedor utilizado como depósito de agua necesaria (en la algunas ocasiones) para la perforación. Fotografía del autor

6.2 PERFORACIÓN DEL TALADRO DEL MICROPILOTE

6.2.1 Diámetros y profundidades

Las perforaciones se efectuarán respetando los diámetros, profundidades y posiciones, indicados en los planos del Proyecto.

Si durante la perforación de algún taladro aparecieran situaciones imprevistas, el Director de las Obras podrá adoptar modificaciones, tales como aumentar el diámetro de la perforación, decidir si hay que revestir con tubería recuperable o perdida, modificar la longitud del micropilote, etc.

El diámetro del taladro debe garantizar el recubrimiento mínimo de la armadura a lo largo de todo el micropilote. Los diámetros más habituales de perforación con revestimiento provisional de los micropilotes, en relación con sus diámetros nominales, y con los exteriores de armaduras más usuales, son los siguientes:

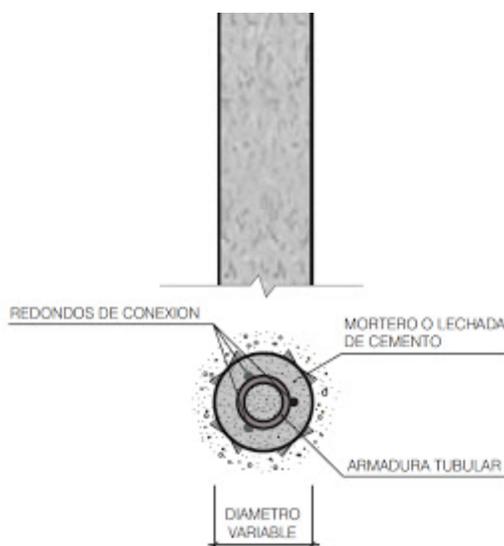
Tabla 6.1. -Diámetros de perforación mínimos, nominales y exteriores de armaduras más habituales. (Fuente Tabla ponencia de IFC cimentaciones especiales)

De perforación mínimo (mm)	Nominal (mm)	Exteriores de armaduras (mm) (*)
120	114,3	60,3 - 73
140	033	60,3 – 73 – 88,9
160	152,4	73 – 88,9 – 101,6
185	177,8	88,9 – 101,6 – 114,3 – 127,0
200	193,7	101,6 – 114,3 – 127,0 – 139,0
225	219,1	114,3 – 127,0 – 139,0 – 168,3

(*) El valor mayor de cada fila de diámetros exteriores de armadura solo será válido en unión roscada

Salvo justificación expresa en otro sentido, el equipo de perforación deberá realizar los taladros con las siguientes tolerancias:

- La posición del eje de la boca de la perforación no deberá estar desplazado mas de 50mm respecto a su posición teórica, a comprobar incluso con cinta métrica. Esta verificación (comprobación de replanteo) se efectuara en todos y cada uno de los taladros.
- Respecto al diámetro nominal de micropilote D, previsto en el proyecto, su posible reducción, fundamentalmente debida al desgaste de los útiles de perforación, deberá ser inferior o igual a 2mm a comprobar midiendo dichos útiles con calibre. Se verificara cada vez que se cambie el útil de
- Perforación o cuando se observe un desgaste apreciable y en todo caso, en al menos un 5% de los micropilotes que se ejecuten.
- La longitud de la perforación no debe diferir en mas de 20 cm de la indicada en proyecto, a comprobar midiendo, incluso con cinta métrica, la longitud total de los útiles de perforación empleados. Esta verificación se efectuara en al menos un 20% de los taladros, con un mínimo de 3 unidades por tajo.
- Respecto a la inclinación del taladro, no se deberá desviar mas de 2° respecto a la teórica, comprobándose con clinómetro o escuadra con doble graduación en milímetros. Se efectuara en al menos un 5% de los taladros, con un mínimo de tres unidades por tajo.



Boca de perforación

6.2.2 Maquinaria

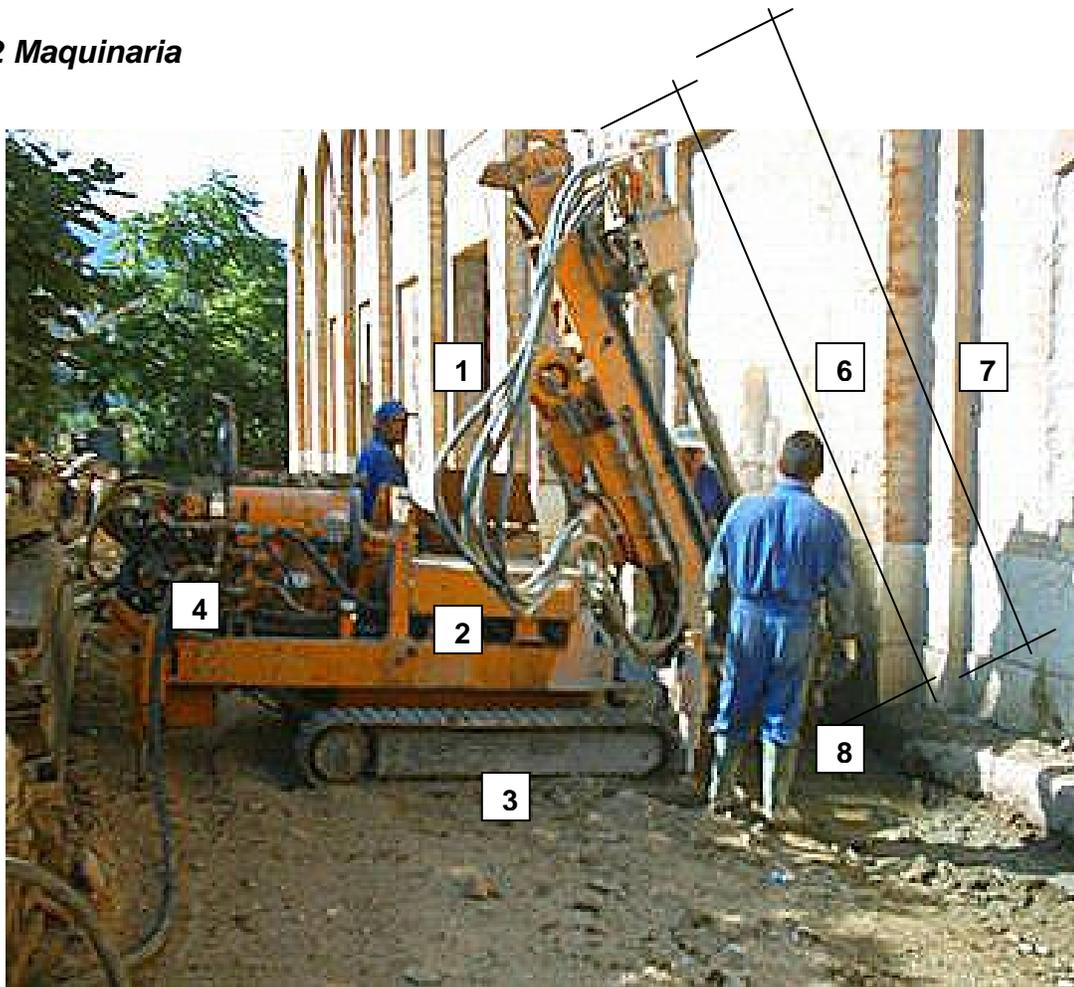


Foto 6.2 – Máquina típica para micropilotar con tren de cadena para un mejor movimiento debido a las malas condiciones en que se encuentra el terreno en este tipo de trabajos

Fotografía del autor



Foto 6.3 – Armadura tubular y entubaciones

Fotografías del autor



Foto 6.4 – Puntas de perforación que se encuentran ya gastadas



Foto 6.5 – Otro ejemplo típico de máquina para micropilotar. *Fotografía del autor*



Foto 6.6 – Máquina para micropilotar especialmente en casos de recalces debido a su tamaño reducido
PIRESA Pilotes y Recalces S.L.

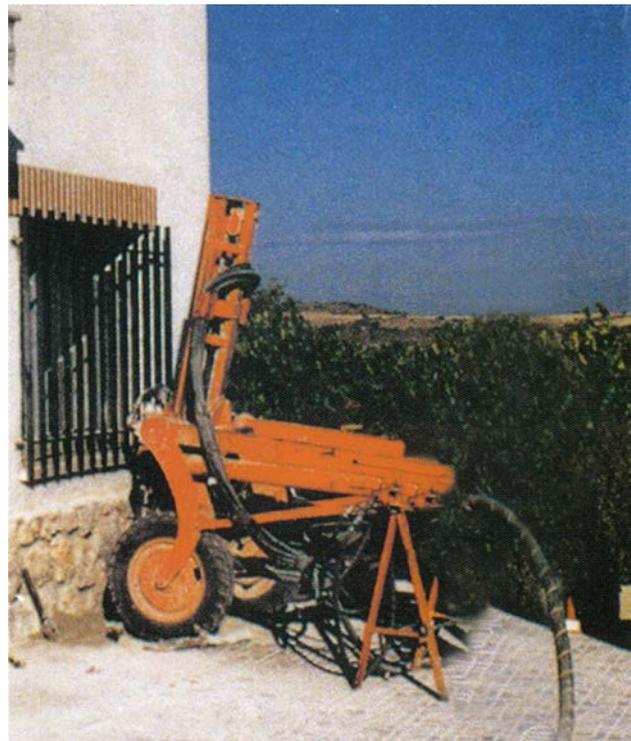


Foto 6.7 – Otro ejemplo de máquina de reducidas dimensiones. *Fotografía catalogo de maquinaria*
Fotografía,

1. Mástil de perforación o guidera
2. Bastidor
3. Tren de rodaje
4. Unidad de potencia
5. Acopio de armaduras tubular y entubaciones
6. Longitud de varillaje/armaduras/entubación
7. Gálbo vertical
8. Varillaje/entubación
9. Punta de perforación

6.2.3 Sistemas de perforación

Se debe elegir el sistema de perforación procurando que no altere las características del terreno, ni afecte, en su caso, a las estructuras a recalzar.

Según sea la consistencia del terreno, y su posible riesgo de colapsabilidad frente al agua, se efectuará al amparo de entubación metálica, recuperable o no y con ayuda de los fluidos adecuados al caso (agua, aire, bentonita). También puede usarse la entubación perdida en zonas de huecos o cavernas.

Clasificación por el sistema de perforación:

Existen dos formas generales de ejecutar la perforación, tanto en perforación encamisada, como en no encamisada:

a) Perforación a **rotación**: consiste en romper los materiales (terreno o cimentación) por fricción, estando recomendada para atravesar cimentaciones antiguas al provocar menores vibraciones. Puede efectuarse con la batería usual de sondeos, con barrenas helicoidales o tricono.

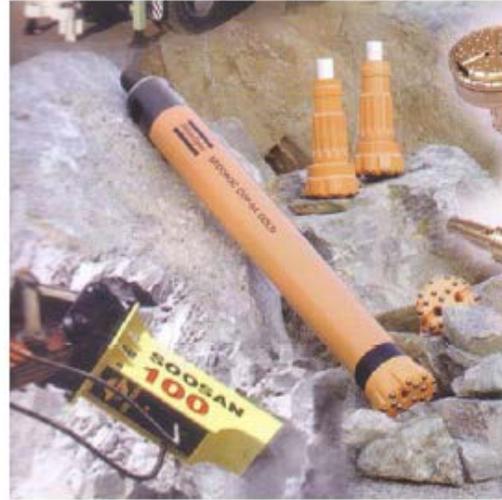


b) Perforación a **roto-percusión**: consiste en triturar los materiales por fricción y percusión. Se pueden utilizar martillo en cabeza (el golpe se realiza desde el exterior mediante martillos percutores) o martillo de fondo (el golpe lo realiza el martillo puesto en la punta del varillaje de perforación accionado por aire comprimido).

Se utiliza para terrenos de consistencia media y dura.



Boca de perforación



Martillo de fondo y tallantes

c) Sistemas **autoperforantes**: Existe otro método de perforación que es utilizar la propia armadura del micropilote como varillaje de perforación, e inyectando posteriormente a través de los agujeros de barrido.

Este método no es muy recomendable puesto que no garantiza el recubrimiento de la armadura.



-Métodos de perforación no encamisada.

1-MECHA SIMPLE: Perforación por rotación en seco de mecha helicoidal. (*Apartado 3.1.3.1 de este Trabajo*)

Procedimiento de ejecución:

1. Replanteo del punto de perforación
2. Posicionamiento del equipo y resbaladera en dirección de perforación.
3. Perforación hasta cota de fondo + 0.3 m.
4. Extracción de todas las mechas de perforación.
5. Colocación centrada de la armadura dentro de la perforación y fijación a nivel.
6. Hormigonado mediante tubo 'tremie' o manguera desde el fondo de la perforación para arrastrar material suelto.

Precauciones a tener en cuenta:

- Verificar que el volumen de material excavado no supere el 20% del volumen teórico.
- Verificar que la armadura disponga de separadores para garantizar el recubrimiento mínimo.
- Continuar colando hasta que el hormigón inyectado salga limpio.

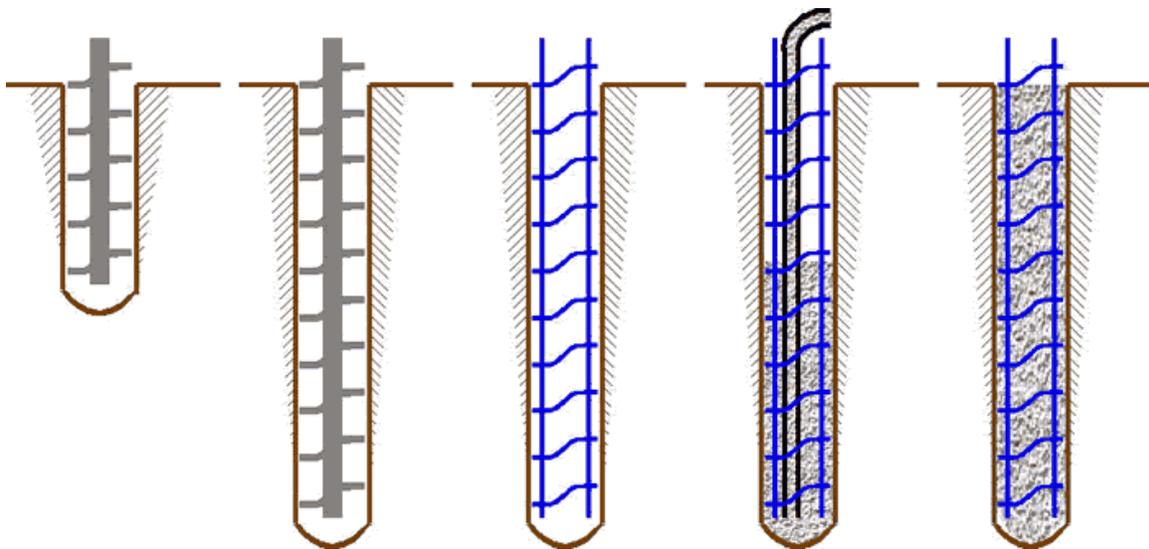


Fig.- 6.2. Secuencia grafica de ejecución de un micropilote ejecutado con perforación por rotación en seco de mecha helicoidal (Mecha simple)(Fuente Autor)

2-MECHA HUECA Perforación por rotación en seco de mecha helicoidal hueca. (*Apartado 3.1.3.1 de este Trabajo*)

Procedimiento de ejecución:

1. Replanteo del punto de perforación.
2. Posicionamiento del equipo y resbaladera en dirección de perforación
3. Asegurar una tapa (perdida o recuperable) de perforación en la punta de la mecha
4. Perforación hasta cota de fondo + 0.5 m.
5. Izar 0.2 m la mecha y destapar la punta de la mecha con un martillete.
6. Colocación centrada de la armadura dentro del alma de la mecha.
7. Hormigonado mediante tubo 'tremie' o manguera desde el fondo de la perforación para arrastrar material suelto.
8. Continuar inyectando a presión mientras se extraen los tramos de mecha.
9. Nivelar la armadura y fijar.

Precauciones a tener en cuenta:

- Verificar que el volumen de material excavado no supere el 10% del volumen teórico.
- Medir la longitud del cable del martillete para verificar que se haya abierto la tapa.
- Verificar que la armadura disponga de separadores para garantizar el recubrimiento mínimo.
- Continuar colando hasta que el hormigón inyectado salga limpio.
- Observar que la presión no supere la presión máxima permitida
- Al fijar la armadura, ésta no debe alcanzar el fondo de la perforación

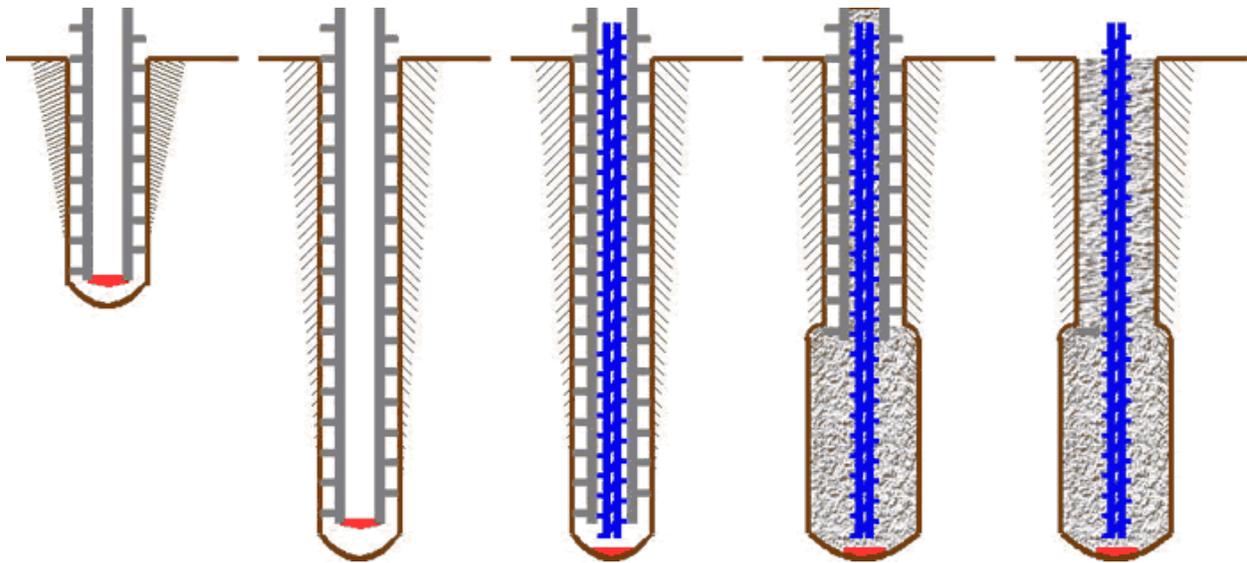


Fig.- 6.3. Secuencia grafica de ejecución de un micropilote ejecutado con perforación por rotación en seco de mecha helicoidal hueca (Mecha hueca)(Fuente Autor)

3-TUBO SIMPLE Perforación con rotación o rotoperCUSión con enjuague exterior. (Apartado 3.1.3.1 de este Trabajo)

Procedimiento de ejecución:

1. Replanteo del punto de perforación
2. Posicionamiento del equipo y resbaladera en dirección de perforación
3. Asegurar una punta o cuchilla (perdida o recuperable) de perforación en la punta del tubo
4. Perforación hasta cota de fondo + 0.5 m enjugando constantemente con el medio líquido apropiado.
5. Izar 0.2 m el tubo y destapar la punta de mismo con un martillete.
6. Colocación centrada de la armadura dentro del alma de la mecha.
Nota: La armadura puede colocarse después del hormigonado, primario antes de comenzar la extracción de los tubos.
7. Hormigonado por dentro del tubo de perforación desde el fondo de la perforación para arrastrar material suelto.

8. Continuar hormigonando a presión mientras se extraen los tramos de tubo
9. Nivelar la armadura y fijar.

Precauciones a tener en cuenta:

- Atención a pérdidas o sobrelavado.
- Medir la longitud del cable del martillete para verificar que se haya perdido la punta.
- Verificar que la armadura disponga de separadores para garantizar el recubrimiento mínimo
- Continuar colando hasta que el hormigón inyectado salga limpio.
- Observar que la presión no supere la presión máxima permitida.
- Al fijar la armadura, ésta no debe alcanzar el fondo de la perforación

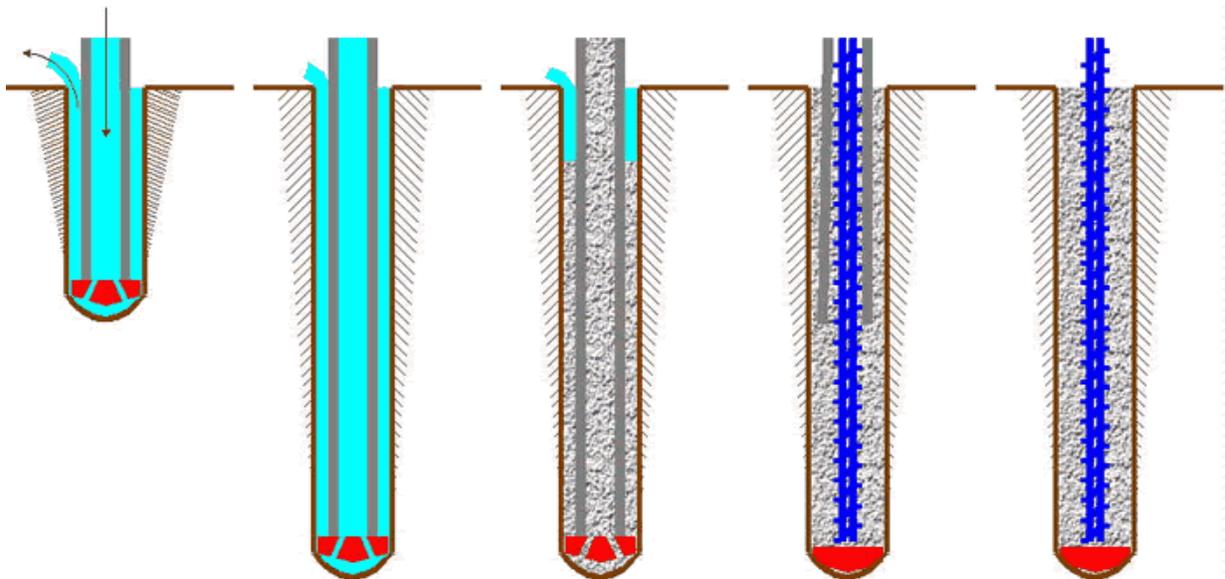


Fig.- 6.4. Secuencia grafica de ejecución de un micropilote ejecutado con perforación con rotación o rotopercusión con enjuague exterior. (Tubo simple)(Fuente Autor)

-Métodos de perforación encamisada:

1- **DUPLEX A** Perforación por rotación simultánea de camisa y mecha en seco. (*Apartado 3.1.3.1 de este Trabajo*)

Procedimiento de ejecución:

1. Replanteo del punto de perforación.
2. Posicionamiento del equipo y resbaladera en la dirección de perforación.
3. Perforación hasta cota de fondo + 0.3 m.
4. Retirar por completo la mecha de perforación.
5. Colocación centrada de la armadura dentro de la camisa de la perforación.
Nota: La armadura puede colocarse después del hormigonado primario antes de comenzar la extracción de la camisa.
6. Hormigonado por flujo inverso dentro de la camisa de perforación desde el fondo de la misma para arrastrar material suelto
7. Continuar hormigonando a presión mientras se extraen los tramos de camisa.
8. Nivelar la armadura y fijar.

Precauciones a tener en cuenta:

- Verificar que la armadura disponga de separadores para garantizar el recubrimiento mínimo.
- Continuar colando hasta que el hormigón inyectado salga limpio.
- Observar que la presión no supere la presión máxima permitida
- Al fijar la armadura, ésta no debe alcanzar el fondo de la perforación

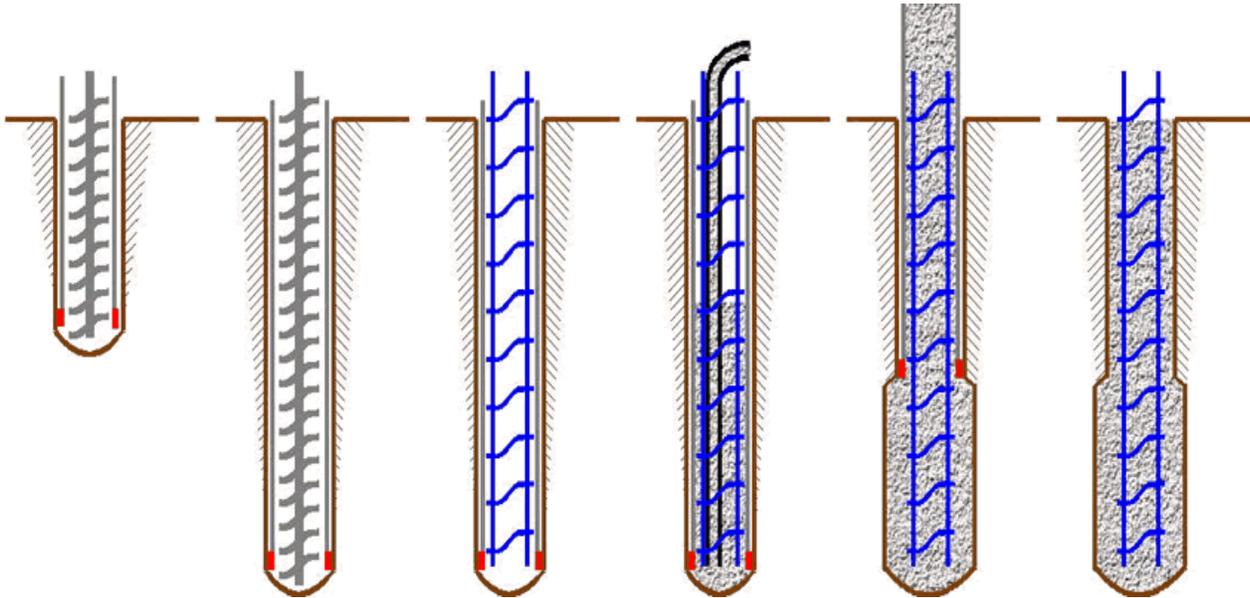


Fig.- 6.5. Secuencia grafica de ejecución de un micropilote ejecutado con perforación por rotación simultánea de camisa y mecha en seco. (Duplex A)(Fuente Autor)

2-DUPLEX F Perforación por rotación simultánea de camisa y tubo con enjuague interior. (Apartado 3.1.3.1 de este Trabajo)

Procedimiento de ejecución:

1. Replanteo del punto de perforación.
2. Posicionamiento del equipo y resbaladera en dirección de perforación.
3. Perforación hasta cota de fondo + 0.3 m inyectando un medio fluido a presión
4. Retirar por completo los tubos de perforación.
5. Colocación centrada de la armadura dentro de la camisa de la perforación.
Nota: La armadura puede colocarse después del hormigonado primario antes de comenzar la extracción de la camisa.
6. Hormigonado por flujo inverso dentro de la camisa de perforación desde el fondo de la misma para arrastrar material suelto
7. Continuar hormigonando a presión mientras se extraen los tramos de camisa
8. Nivelar la armadura y fijar.

Precauciones a tener en cuenta:

- Verificar que la armadura disponga de separadores para garantizar el recubrimiento mínimo.
- Continuar colando hasta que el hormigón inyectado salga limpio.
- Observar que la presión no supere la presión máxima permitida
- Al fijar la armadura, ésta no debe alcanzar el fondo de la perforación

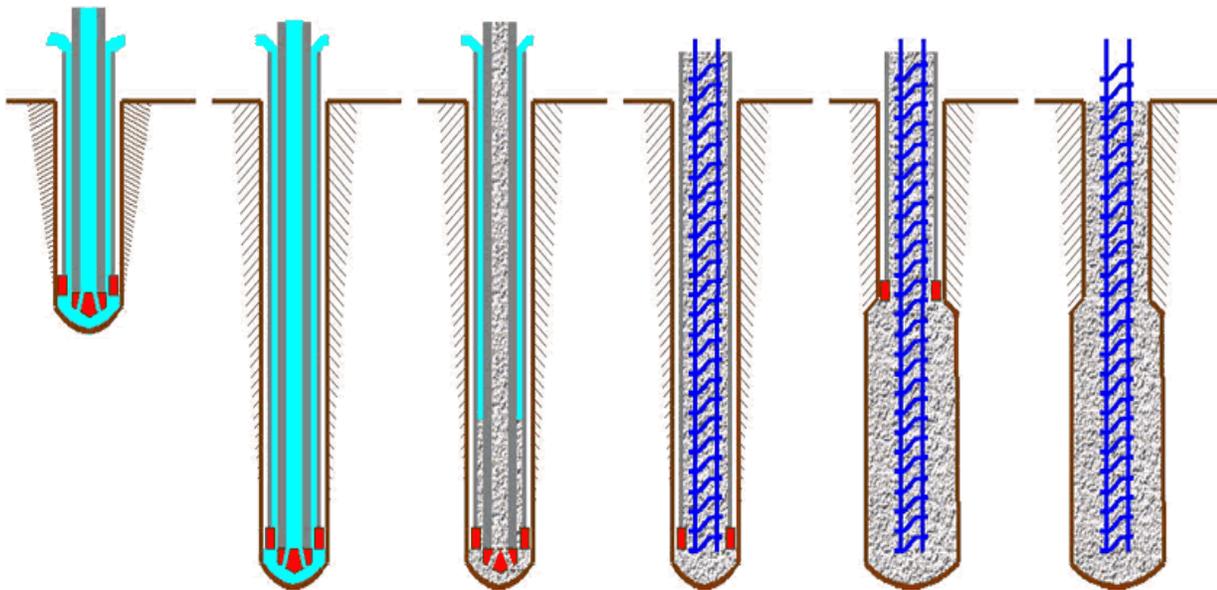


Fig.- 6.6. Secuencia grafica de ejecución de un micropilote ejecutado con perforación por rotación simultánea de camisa y tubo con enjuague interior. (Duplex F)(Fuente Autor)

En el caso de terrenos muy blandos, cársticos, colapsables por inundación, etc., es necesario el empleo de entubaciones provisionales, la perforación con barrenas helicoidales, se efectuará en su caso procurando una mínima adición de agua.

EXTRACCIÓN DE DETRITUS

Los fluidos de perforación no serán nocivos ni a los materiales constituyentes de la inyección, ni a la armadura del micropilote.

UTILIZACIÓN LODOS Y SU AFECCIÓN A LA RESISTENCIA POR FUSTE

Se deberán prever con antelación las técnicas necesarias para contrarrestar la presión del agua y los desmoronamientos bruscos de los taladros, tanto durante la propia perforación como durante la colocación de la armadura y la realización de la inyección. En concreto se tomarán precauciones especiales al atravesar niveles artesianos para evitar la salida de agua con arrastres de terreno.

El proceso de perforación deberá efectuarse de forma que cualquier variación significativa del terreno, respecto a lo previsto en el Proyecto, sea detectada inmediatamente.

En caso de utilizar los micropilotes para recalzar estructuras ya existentes se deberá proceder, como mínimo durante la fase de perforación, a controlar los movimientos de las estructuras próximas a la zona de trabajo, fundamentalmente de sus pilares si los tuvieran.

En el caso de estructuras próximas de especial relevancia, y siempre que así se especifique en el Proyecto, o a petición del Director de las Obras, se elaborará un plan de auscultación que controlará cuantos aspectos se consideren de interés y cuando menos incluirá medición de asientos y/o levantamientos, por un periodo de unos seis meses, que deberá adaptarse específicamente a cada caso.

En principio, salvo indicación expresa en otro sentido, y con carácter general, se admitirán movimientos (asientos o levantamientos) en las estructuras inducidos por la ejecución de los micropilotes del orden de 3 mm; para admitir valores mayores será necesario realizar un estudio especial. El control de movimientos se realizará con niveles de precisión y referencias adosadas a puntos especiales de la estructura.

En general no se perforarán dos micropilotes adyacentes de forma continua, así en zapatas corridas, o vigas de arriostramiento, se dejarán al menos dos unidades intermedias, y en zapatas aisladas deberán transcurrir al menos 24 horas entre la ejecución de cada dos micropilotes sucesivos en un mismo cimiento.

Se estudiarán con especial atención los apuntalamientos necesarios de las estructuras a recalzar, tanto en la preparación de los accesos de la maquinaria (que será de las

dimensiones adecuadas a la obra), como por los asientos inducidos durante la ejecución del micropilotaje.

6.2.4 Tolerancias geométricas de perforación

Salvo indicación expresa en otro sentido, el equipo de perforación realizará los taladros con las siguientes tolerancias:

- La posición del eje de la boca de la perforación no estará desplazado en planta más de 50 mm respecto a su posición teórica, a comprobar incluso con cinta métrica. Esta comprobación se efectuará en todos los taladros.
- Respecto a la inclinación, el taladro no se desviara más de 2° respecto a la teórica, comprobándose con clinómetro o con escuadra con doble graduación en milímetros, y su equivalencia en inclinación. Se efectuará en al menos un 5% de los taladros, y con un mínimo de tres unidades.
- Respecto al diámetro nominal del micropilote previsto en el Proyecto, su posible reducción (fundamentalmente debida al desgaste del equipo) no será superior a 2 mm, a comprobar midiendo el útil de perforación con un calibre. Se comprobará cada vez que se cambie el Útil de perforación, o cuando se observe un desgaste apreciable, y en al menos un 5% de los casos.
- La longitud de la perforación no se desviará en más de 20 cm. respecto a la del Proyecto, a comprobar midiendo incluso con cinta métrica la longitud total de los útiles de perforación empleados. Esta verificación se efectuará en al menos un 10% de los taladros, con un mínimo de tres unidades.

Los sistemas de medida a utilizar en las comprobaciones anteriores no deberán ofrecer errores superiores al 2%.

6.3 COLOCACIÓN DE LA ARMADURA

La recepción de las armaduras se efectuará según lo especificado en el epígrafe 3.2.1 de este trabajo.

La armadura de un micropilote puede hacerse con barras, tubos o una combinación de ambas. En España la armadura habitual es el tubo de acero que además ha servido de entubación, y en su caso de guía de inyección.

La armadura de tubo garantiza la continuidad del micropilote en caso de corte del mortero (defecto que es muy frecuente en terrenos flojos) y además proporciona resistencia al corte y a flexión, necesarios cuando los micropilotes no trabajan solo a compresión. Además puede realizarse un pretensado del pilote mediante un cable o barra sujeto a la parte inferior del tubo y sujeto en cabeza con un pequeño gato (para cable) o una tuerca (para barra).

La longitud comercial máxima de los tubos suele ser de 9 m, para facilitar un transporte por medios convencionales. Si se desea construir micropilotes de más longitud (o en trozos más pequeños) la unión suele hacerse por rosca, lo que es cómodo, pero debilita la sección de acero, especialmente a flexión. En esos casos la unión correcta incluye un manguito exterior de refuerzo. Bermejo (2003) ha realizado ensayos, a flexión y a esfuerzo cortante, de tubos de diámetro exterior 88.9 mm y espesor 7 mm, comparando la resistencia de tubos continuos con la de tubos unidos con rosca macho-hembra y con la de tubos unidos con un manguito exterior de diámetro exterior 102 mm y espesor 7 mm. Los ensayos se realizaron con tubos huecos y con tubos rellenos con lechada de cemento de 50-60 MPa de resistencia compresión simple. Su conclusión es que las cargas de rotura (a flexión o a cortante) de los tubos con empalme por



*Unión macho –hembra
(reducción 50% tope estructural)*



*Unión macho -macho
(no hay reducción del tope estructural)*

manguito es del mismo orden, o ligeramente superior, que la del tubo continuo, mientras que en el caso de los tubos con unión a rosca macho-hembra las cargas de rotura son del orden del 50% de las de los tubos con manguito.

Antes de proceder a la colocación de la armadura del micropilote, se comprobará la profundidad del taladro, de forma que se encuentre libre de obstáculos. La colocación se efectuará de forma controlada para no alterar la posición de ninguno de sus elementos (centradores, manguitos, etc.).

Los centradores serán solidarios a la armadura tubular y garantizarán el recubrimiento mínimo, su separación entre cada dos elementos consecutivos no será superior a los 5 m. El tiempo transcurrido entre la perforación e instalación de la armadura y la inyección debe ser el menor posible, en ningún caso superior a las 24 horas.

6.4 INYECCIÓN DEL MICROPILOTE

6.4.1 Objetivos

La inyección de un micropilote tiene dos objetivos fundamentales:

- Constituir el fuste y la punta del micropilote propiamente dichos.
- Proteger a la armadura de la corrosión.

6.4.2 Maquinaria de inyección

El equipo para la correcta ejecución de inyección estará formado por un turbo-mezclador, un agitador y una bomba de inyección.

El turbo-mezclador o mezcladora, será de alta turbulencia, de forma que garantice la correcta calidad y homogeneidad de la mezcla, con él obtenido.

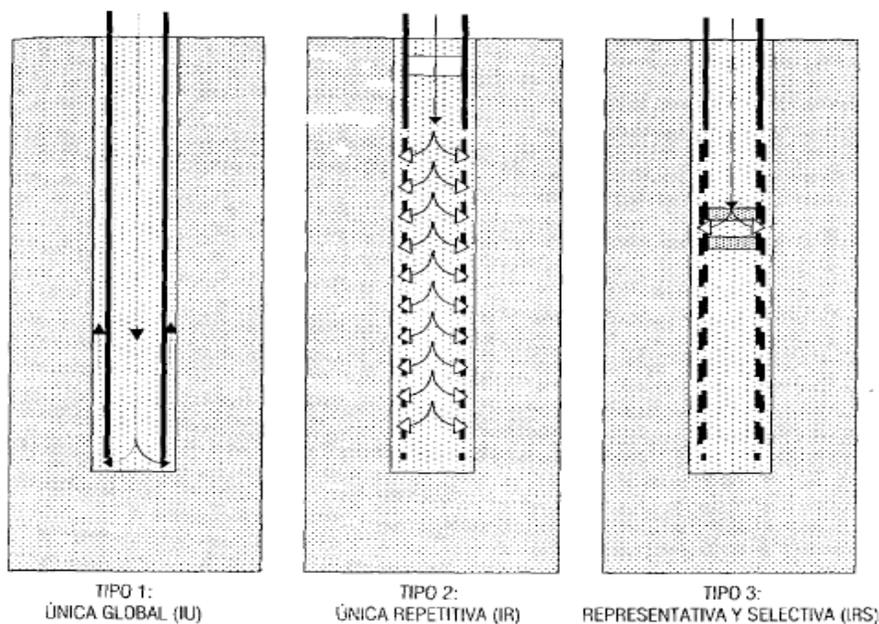
El agitador sirve como depósito acumulador entre la mezcladora y la bomba de inyección, lo que permite la continuidad de inyección.

Mediante unas aspas agitadoras que giran lentamente, se homogeneizan la lechada o mortero, durante su permanencia en el deposito, liberándose de posibles burbujas de aire.

La bomba hidráulica o neumática será la encargada de impulsar la mezcla durante su inyección, dando los caudales y presiones requeridos en proyecto.

6.4.3 Tipos de inyecciones

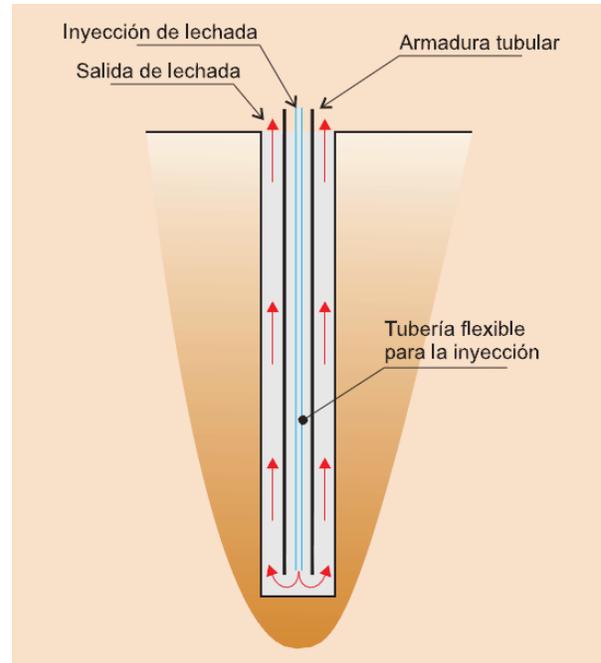
En este trabajo vamos a diferenciar cuatro tipos de inyecciones:



a) **Inyección previa:** Realizada para rellenar inicialmente el taladro obtenido en la perforación, con lechada o mortero de cemento, cuando las pérdidas de inyección se prevean elevadas, entendiéndose normalmente como tales cuando sean superiores a 2,5-3 veces el volumen teórico de inyección.

b) **Inyección Única global (IU):** inyección efectuada en una sola fase para rellenar el hueco entre el taladro de la perforación y la armadura.

Esta inyección puede hacerse por vertido directo de lechada o mortero por el interior de la armadura tubular para que rellene el hueco entre ésta y el terreno, ascendiendo por la corona exterior. También puede efectuarse mediante inyección a baja presión ($p_i \leq 0,5 \text{ MPa}$), a través de un tubo de plástico colocado en el fondo del micropilote, ascendiendo la lechada tanto por el exterior como por el interior de la armadura tubular. Esta inyección se realizará siempre de fondo a cabeza del micropilote.



En algunos casos, si transcurrido cierto tiempo (sin alcanzar el fraguado) se observa que disminuye el nivel de la lechada, por penetración de ésta en el terreno, puede ser necesario volver a inyectar.

En los micropilotes tipo IU la presión de inyección normalmente será superior a la mitad de la presión límite del terreno e inferior a dicha presión límite:

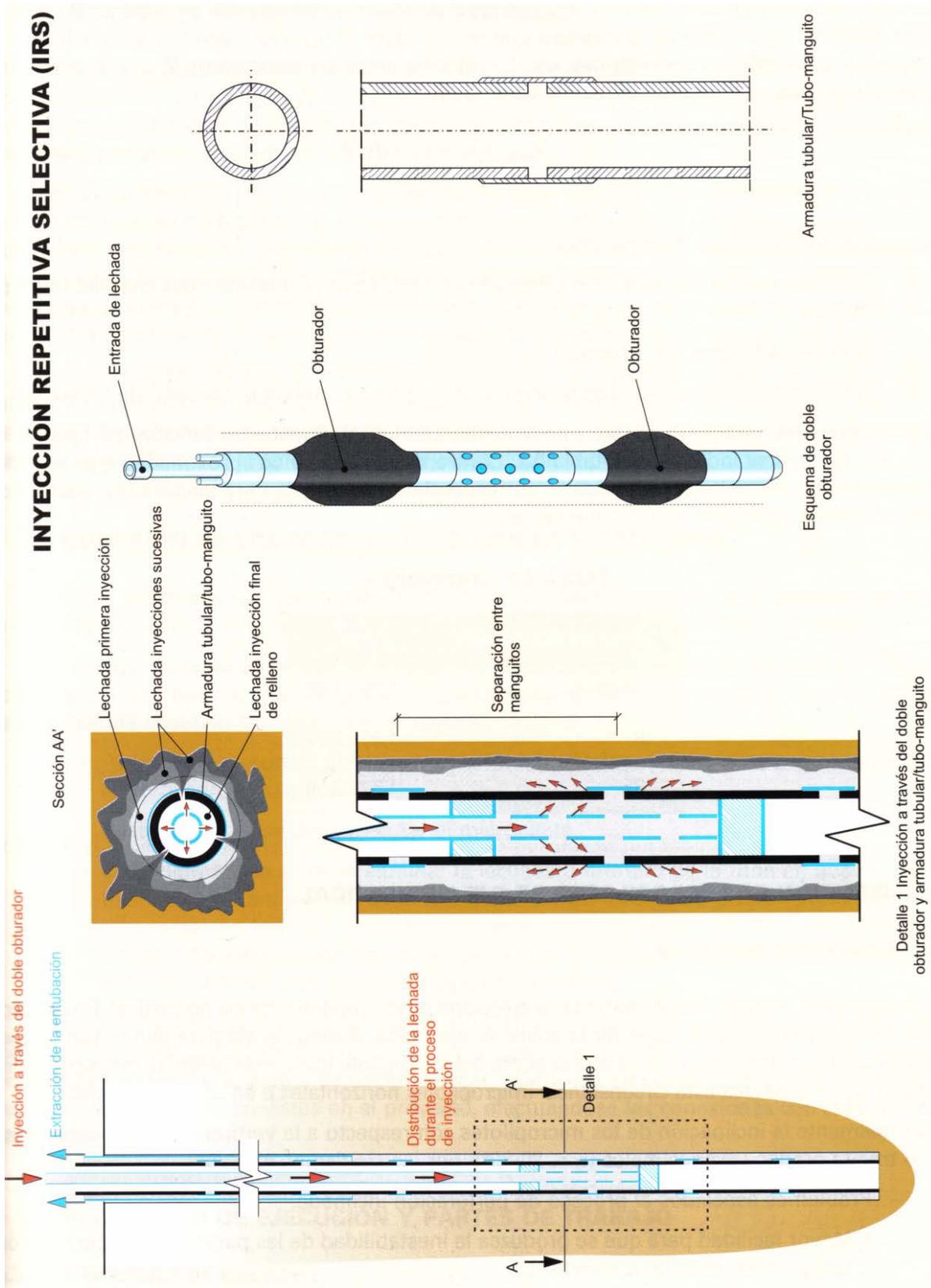
$$0,5 P_{lim} < P_i < P_{lim}$$

La presión de inyección se podrá medir a la salida de la bomba, siempre que la boca del taladro no se encuentre a una distancia superior a 50m en planta, ni a un desnivel mayor de 1m. En caso contrario, se medirá en boca de taladro.

c) **Inyección repetitiva y selectiva (IRS):** Inyección a presión desde el interior de la armadura tubular, con obturadores, realizada normalmente a través de tubos manguito instalados en la tubería de armadura, separados no más de 1 m entre sí.

Se puede inyectar más de dos veces a través de manguitos seleccionados, en función de la admisión de lechada obtenida, con presiones de inyección normalmente comprendidas entre un megapascal y la presión límite del terreno.

$$1 \text{ Mpa} \leq P_i \leq P_{lim}$$



d) **Inyección repetitiva (IR):** Inyección a presión desde el interior de la armadura tubular, realizada normalmente a través de latiguillos o circuitos globales con válvulas instaladas en la tubería de la armadura, con inserción de obturadores para limitar la zona a inyectar, en un número de reinyecciones generalmente no superior a dos, con presiones de inyección comprendidas entre medio megapascal y la mitad de la presión límite del terreno.

$$0,5 \text{ Mpa} \leq P_i \leq \frac{P_{\text{lim}}}{2}$$

Las reinyecciones en varias fases tienen por objeto aumentar la capacidad del micropilote. Los parámetros de presión, caudal y volumen máximo a inyectar deben definirse en el Proyecto.

Un posible criterio de definición del volumen máximo de inyección del micropilote, puede ser el siguiente:

Tabla 6.2. - Volumen máximo en función del tipo de inyección

(Fuente Tabla ponencia de IFC cimentaciones especiales)

Tipo de inyección	V _{max}
Previa , IU	1,5 V _t
IR	2,0 V _t
IRS	3,0 V _t

donde:

V_{max} = Volumen máximo de inyección.

V_t = Volumen teórico de inyección.

En general, la eficacia de las reinyecciones disminuye a medida que el terreno aumenta su competencia y su cohesión.

6.4.4 Proceso de inyección

La inyección del taladro se realizará lo antes posibles después de efectuada la perforación, el tiempo transcurrido no será en ningún caso superior a las 24 horas.

En caso de efectuarse inyección previa, ésta se llevará a cabo de fondo a boca de taladro, a través de un tubo de plástico colocado en el fondo del micropilote, hasta que la lechada o mortero de cemento que rebose por la boca del taladro sea de las mismas características (en color y consistencia) que la inyectada inicialmente.

La Inyección Única global IU, se efectúa de fondo a boca del micropilote, y puede llevarse a cabo mediante vertido directo de lechada o mortero por el interior de la armadura tubular para que rellene el hueco entre ésta y el terreno, ascendiendo por la corona exterior. También puede efectuarse mediante inyección a baja presión, a través de un tubo de plástico colocado en la punta del micropilote, ascendiendo la lechada tanto por el exterior como por el interior de la armadura tubular.

En las inyecciones repetitivas IR, tanto la inyección inicial de la corona exterior a la armadura tubular, como de las sucesivas reinyecciones, se efectuarán mediante latiguillos exteriores a la armadura tubular, que irán provistos de válvulas.

En las inyecciones repetitivas selectivas IRS, tanto la inyección inicial de la corona exterior a la armadura tubular, como las sucesivas reinyecciones, se efectuarán a través de la armadura tubular que ira dotada de tubos manguito, con inserción de obturadores.

Respecto a los materiales a emplear y sus dosificaciones se estará a lo especificado en el epígrafe 6.2.2 de este trabajo.

6.4.5 Control de ejecución

Los controles a efectuar para verificar la idoneidad de la ejecución de la inyección serán los especificados en la vigente Instrucción de hormigón estructural (EHE artículo 98).

Además, se medirá la densidad aparente de las lechadas, que se comprobará con balanza antes de la inyección, no siendo en ningún caso inferior a 1.500 Kg./m³ ni superior a 1.700

Kg./m³. Asimismo se comprobará la decantación (contenido agua libre no mayor del 2% a las 2 horas) y la viscosidad (entre u asiento de 40 y 50 mm. en cono de Abrams).

Finalmente se comprobará la resistencia característica de las lechadas y morteros, para compararla con la resistencia característica a compresión del Proyecto según lo especificado en la vigente Instrucción de hormigón estructural (EHE artículo 88).

6.5 EJECUCIÓN DE MICROPILOTES DE EJE NO VERTICAL

6.5.1. Micropilotes Inclinados

Por diferentes motivos es muy habitual la ejecución de micropilotes inclinados en obras de recalce, polo cual hay que abordar los diferentes problemas que se encuentran en el proceso de perforación inclinada:

- Mayor facilidad para que se produzca la inestabilidad de las paredes de la perforación, respecto del caso de eje vertical.
- Aumento, por lo general, de la desviación de la perforación respecto a su eje teórico, conforme lo hace la inclinación de ésta.
- Mayores dificultades para el emboquille de la perforación y mayores necesidades de espacio libre debido a la inclinación del mástil de perforación.

6.5.2. Micropilotes horizontales o en contrapendiente

Aunque en obras de recalce no es muy habitual encontrarse con este tipo de problema, si es conveniente tener conocimiento de cómo se ejecuta un micropilote en este tipo de situación, ya que se puede presentar algún caso.

La inyección de micropilotes horizontales o en contrapendiente presenta una singularidad con el resto de los micropilotes, ya que por su disposición geométrica, no se garantiza mediante una inyección por el interior de la armadura, la limpieza del agua, lodo y restos de perforación que hubieren.

La forma en que se debe proceder consiste en efectuar un cierre en la boca de la corona circular entre la armadura y el terreno, equipada con boquilla de inyección. Por esta boquilla se comienza la inyección hasta que la misma llegando al fondo del taladro vierte por el interior de la armadura efectuándose el cierre en la boca de la misma cuando las características de la mezcla que retorna sean similares a las de la mezcla que se inyecta.

En los micropilotes con inyección repetitiva y selectiva (IRS) una vez realizada esta por los manguitos dispuestos, el interior de la tubería de armadura debe de llenarse de una manera similar a la descrita para el micropilote. Se debe introducir un pequeño latiguillo hasta el fondo de la tubería que sirva como purga y rebosadero a la inyección que se ejecute desde la boca mediante cabeza con conducto de inyección y salida del conducto de purga y control. Este mismo equipamiento de boquilla e interior de armadura deberá colocarse en aquellos micropilotes que inyectándose mediante inyección única global (IU), presenten una inclinación ascendente superior a 10° para permitir la salida del aire y en consecuencia su completo llenado.

6.6 CONEXIÓN DE LOS MICROPILOTES CON LA ESTRUCTURA

Una vez dados por buenos los micropilotes, por la Dirección de Obra, se procederá a conectar con la estructura antigua a recalzar.

Debido a que se cuenta ya con una estructura de una cierta tipología que condiciona, tanto la distribución y las cargas de los micropilotes como el sistema de conexión de los mismos.

Existe pues un número de variables a considerar que determinan el tipo de solución a adoptar. Veamos los ejemplos más usuales:

6.6.1 La cimentación existente puede transmitir directamente las cargas a los micropilotes

En este caso de zapatas, losas o muros en los que por su tipología y la magnitud de las cargas a soportar es posible construir los micropilotes perforando los elementos mencionados.

La conexión se realiza:

- Mediante el contacto entre la cimentación previamente perforada y la adherencia entre la lechada o mortero inyectado.

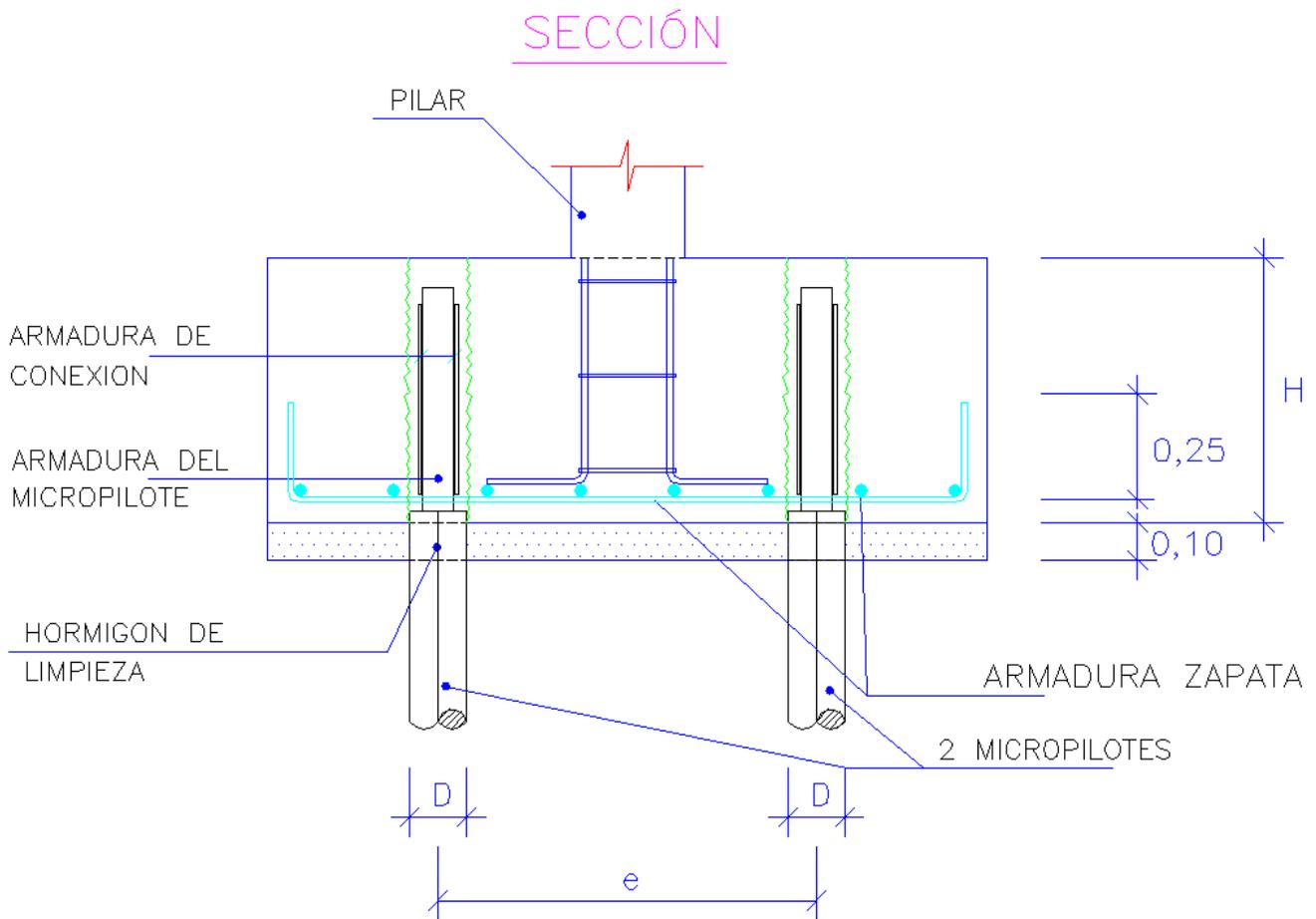


Fig. 6.7 Sección de un recalce de una zapata mediante transmisión directa

(Fuente Autor)

En este caso la carga que se puede transmitir a cada micropilote depende del canto de la zapata o elemento de cimentación, del diámetro del micropilote y de la adherencia entre la lechada o mortero del micropilote con su armadura y el hormigón de la zapata. Se emplearán lechadas o morteros sin retracción, para garantizar el contacto entre las diferentes superficies. Una vez inyectado el micropilote, se eliminará la lechada de la parte superior, en coincidencia con la cimentación existente, mediante chorro de aire a presión. En el relleno del espacio de conexión se utilizará siempre una lechada o mortero expansivo.

La adherencia se puede mejorar soldando una serie de redondos a la armadura, cuando esta es lisa, o utilizando un tubo roscado como armadura.

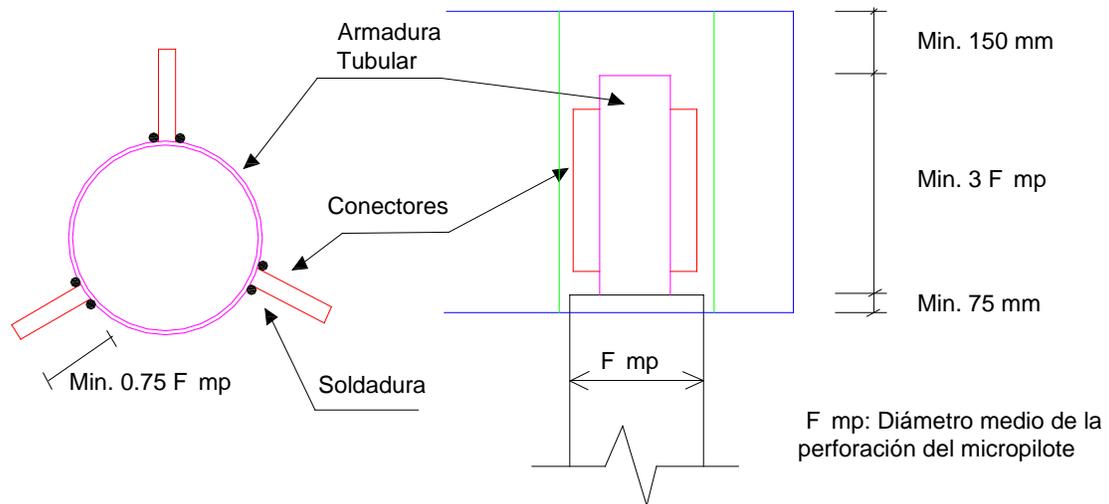


Fig. 6.8 Conectores soldando pletinas en la armadura tubular

(Fuente Autor)

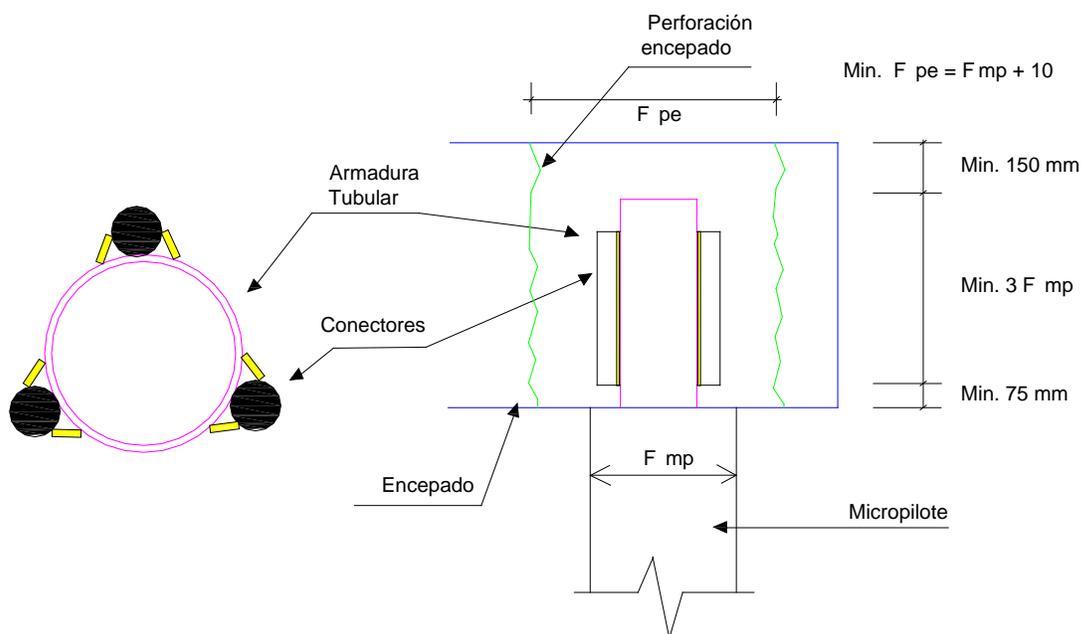


Fig. 6.9 Conectores soldando redondos en la armadura tubular

(Fuente Autor)

En el primero de los casos recién citados la adherencia admisible, entre la lechada o el mortero del micropilote y el hormigón antiguo del cimiento, podrá tomarse de modo orientativo de la siguiente tabla:

Tabla 6.3 Adherencia admisible en función de cimiento

(Fuente Tabla ponencia de IFC cimentaciones especiales)

Tipo de cimiento	a_{adm} (Mpa)
Mampostería de piedra de resistencia media a baja	0,01 - 0,05
Mampostería de piedra de alta resistencia	0,10 - 0,30
Fabrica de ladrillo de baja calidad, con mortero pobre	0,02 – 0,06
Hormigones antiguos de calidad media	0,30 – 0,50
Hormigones modernos de calidad media	0,40 – 0,80

DEFINIR: Roca de resistencia baja/alta, mortero de alta calidad/pobre, fábrica de ladrillo de baja calidad, hormigones antiguos/modernos. CON CRITERIOS MAS O MENOS OBJETIVOS

-Colocando un sistema de conectores destinados a mejorar la transmisión de cargas.

En algún caso especial, en el que no exista agua en el terreno, éste sea suficientemente estable y la geometría de los elementos lo permita, es posible añadir algún sistema de conexión que pueda mejorar la transmisión de las cargas.

Otro sistema para aumentar la adherencia en el contacto entre la armadura del micropilote y el nuevo hormigón del encepado, en soluciones de recalce, consiste en soldar a la armadura del micropilote varios redondos corrugados. Esta soldadura será continua

6.6.2 Es necesario construir un nuevo elemento que sirva de conexión entre los micropilotes y la cimentación existente o a la propia estructura:

En esta ocasión la geometría de los elementos existentes, o la magnitud de las cargas imposibilitan establecer una distribución aprovechando estos elementos, siendo necesario

recurrir a nuevos encepados que deberán conectar a la estructura y cimentación existente. Como se puede ver en los siguientes detalles

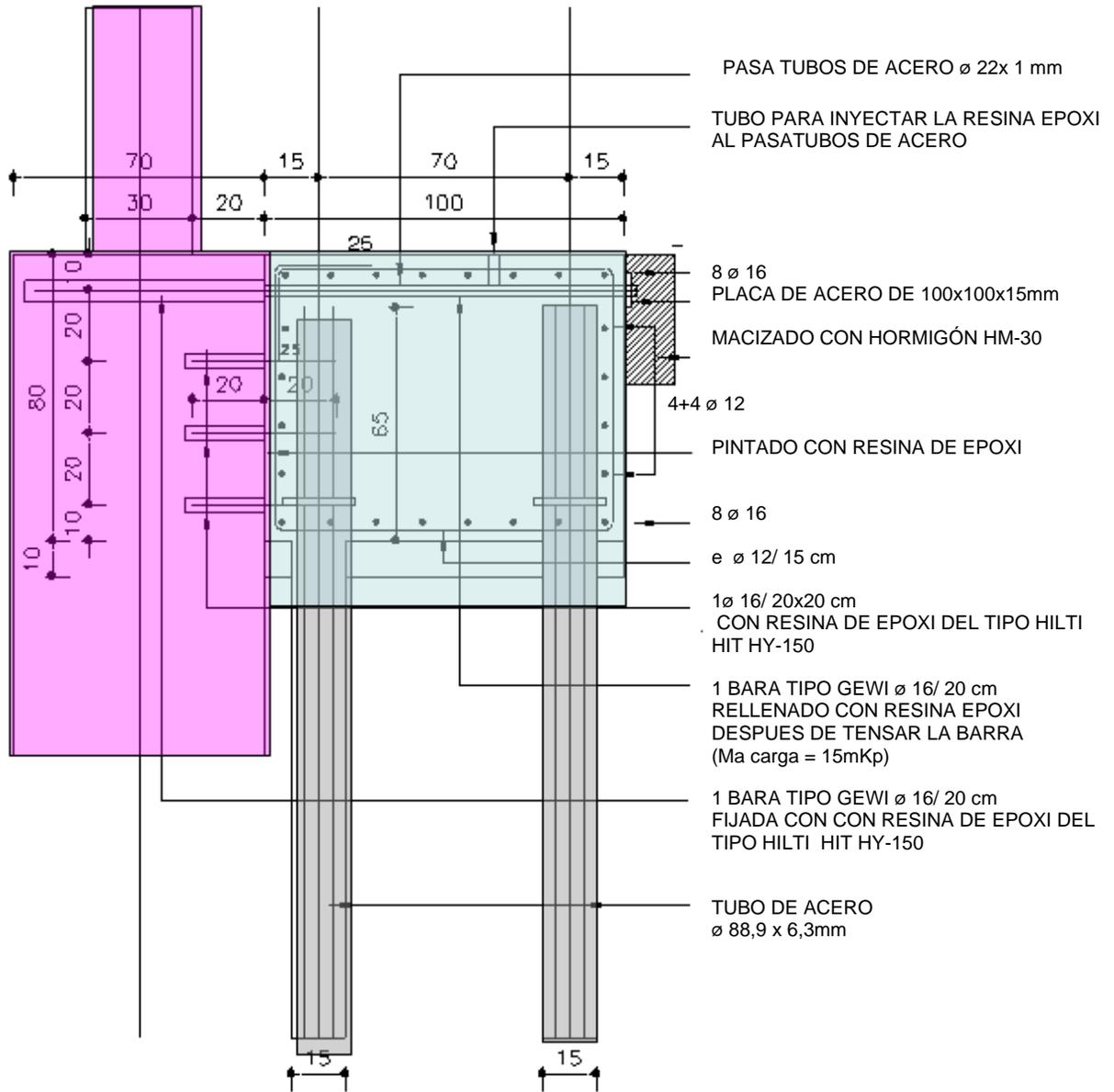


Fig. 6.10 Detalle constructivo de unión de los micropilotes a la cimentación preexistente mediante barras de acero ancladas al cimiento con resina epoxy.

(Fuente Autor)



Foto. 6.8 -Foto en la que se observa las barras de acero ancladas, en este caso, a una zapata corrida bajo un muro. Y en la que se ven también la cabeza de los micropilotes que posteriormente serán unidos a las barras con un encepado, como se observa en el detalle anterior. *(Fuente Autor)*



Foto. 6.9 -Foto de la vista general de la cimentación, en la que se observan ya todos los micropilotes ejecutados y las barras de anclaje a las zapatas y muros, a falta de colocar la armadura que formará en el encepado. *(Fuente Autor)*

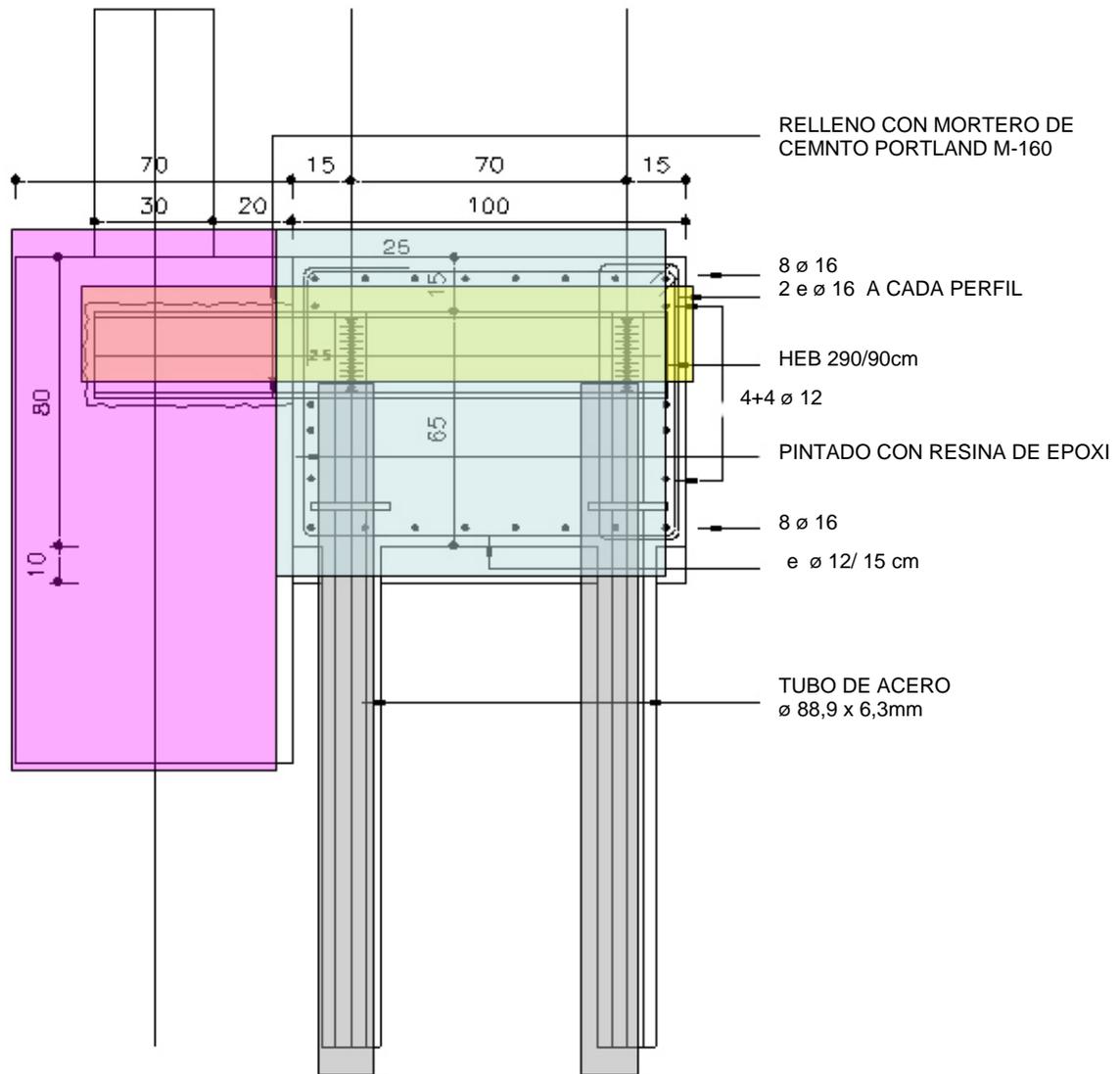


Fig. 6.11 -Detalle constructivo en el cual se ha utilizado un perfil de acero del tipo HEB 290/90cm, anclado en la cimentación, como forma de unión de ésta con los micropilotes. (Fuente Autor)



Foto. 6.10 –Foto en la que se puede observar la ejecución de lo representado en el detalle anterior y en la que se ve claramente el perfil de acero utilizado.

(Fuente Autor)

Precisamente por la variedad de casos que se pueden presentar en la práctica no existe una regla única que se pueda aplicar a todos ellos, debiendo el proyectista diseñar la que mejor se adapte a las necesidades de la obra.

Enumeramos algunos casos:

1. Edificios cimentados con zapatas con un cambio de uso y fuerte aumento de cargas:

En este caso las zapatas existentes pueden no garantizar una buena transmisión de cargas por:

- Tener un hormigón deficiente.
- No tener dimensiones suficientes.
- No poder establecer un sistema de transmisión adecuado.

La solución puede ser:

- Hacer un recrecido de las zapatas en ancho y canto que recoja los micropilotes a la manera de un nuevo encepado conectado a la zapata.
- Hacer una losa cimentada con micropilotes y conectada directamente a la estructura.

2. Recalce de edificios sustentados con muros cimentados en zapatas corridas de pequeño canto:

En este caso, una práctica habitual es adosar dos vigas paralelas a la cimentación que encepán los micropilotes y los dos cimientos deberán conectarse con pasadores transversales metálicos (barras, tubos, vigas, etc.), inyectándose el antiguo encepado preferiblemente con lechada de cemento o resina epoxi, de forma que se asegure al resistencia a esfuerzo rasante de la junta entre hormigones según se especifica en la vigente Instrucción de hormigón estructural (artículo 47, EHE)

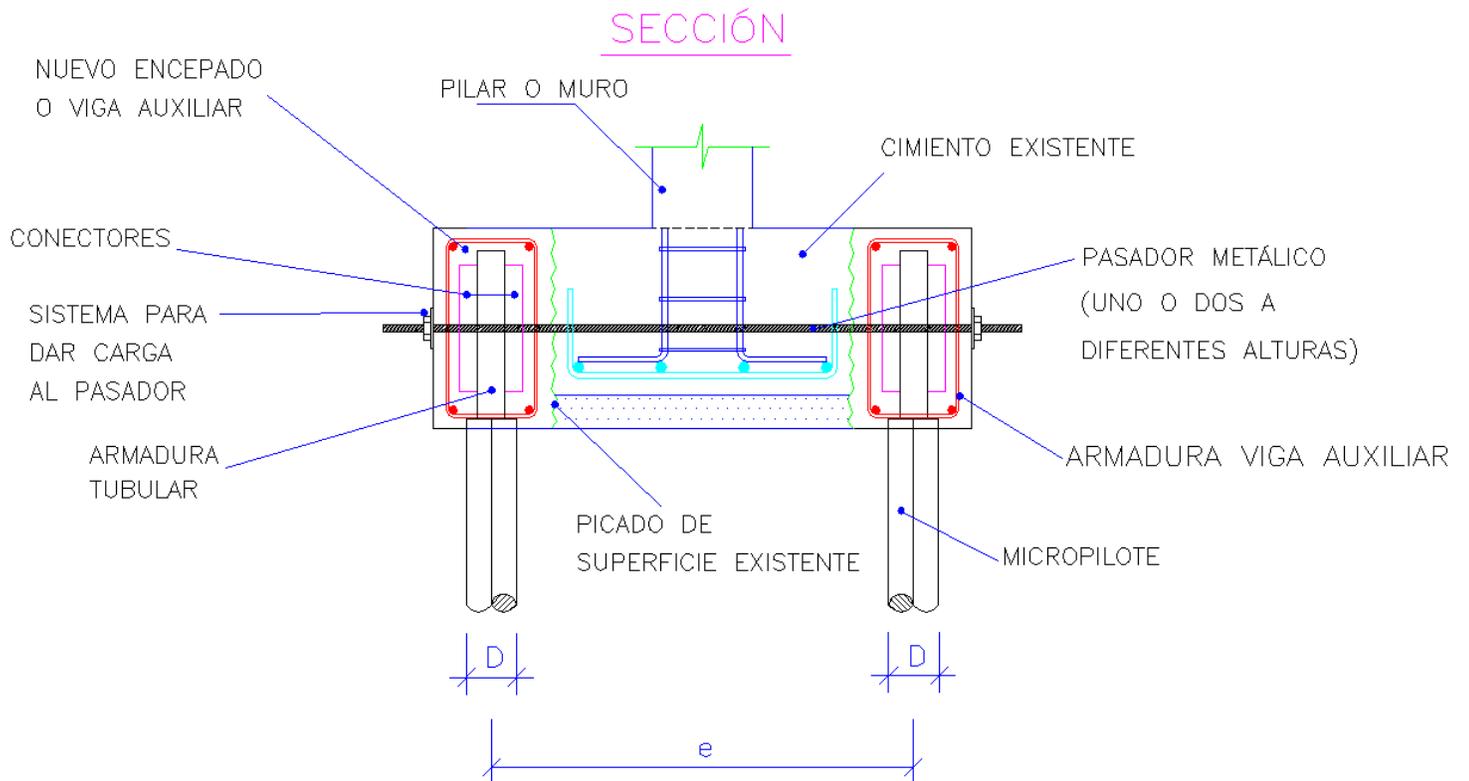


Fig. 6.12 Detalle de recalce de cimentación utilizando pasadores transversales metálicos (Fuente Autor)

En estos casos en el que el micropilote no atraviesa la zapata a recalzar y se encepará con un nuevo elemento de hormigón armado. Se deberá picar la superficie existente con la que se va a conectar el nuevo encepado, para que resulte una superficie de contacto rugosa (incluso, si fuera posible, se dejará esta superficie con cierta inclinación para que el antiguo cimiento se acodale contra el nuevo al descender).

La carga de apriete de los pasadores vendrá condicionada por la calidad estructural del cimiento antiguo.

Existen otras soluciones basadas en conectar el muro a los micropilotes a través de diferentes elementos metálicos o de hormigón que garanticen una correcta transmisión de las cargas.

3. Recalce de edificios pilotados:

Este caso es parecido al anterior, y es debido a que los encepados entre pilotes tienen normalmente dimensiones inferiores a las zapatas, siendo necesario en la mayoría de las ocasiones colocar nuevos encepados que se unan a los anteriores o a la propia estructura. Las soluciones adoptadas para el recalce de un edificio pilotado, están basadas en la construcción de nuevos encepados, en la colocación en algunos pilares de forros metálicos con vigas inferiores soldadas apoyadas sobre los encepados de micropilotes, y pilares recrecidos con hormigón para conseguir una correcta transferencia de cargas.

Como vemos, en los recalces de cimentaciones, tanto para el diseño de la distribución de los micropilotes, como para el de los sistemas de conexión, es necesario hacer un estudio muy complejo debido a las limitaciones de espacio y a condicionantes de la estructura existente. Los detalles generales a tener en cuenta son:

- Cuidado en la unión de hormigones nuevos con viejos (picado del hormigón viejo, empleo de resinas, etc.)

- Mejora de la adherencia de la armadura con la zona de contacto entre el micropilote y el encepado.

- Empleo de lechadas o morteros sin retracción en los rellenos de contacto.



Foto. 6.11 Recalce de edificio pilotado, en la que se puede ver la vigas metálicas utilizadas para poder transferir las cargas a los encepados. *Fotografía facilitada por PIRESA*

En el Anexo2 hay una relación de detalles constructivos de diferentes formas de recalzar con micropilotes, según el tipo de cimentación existente.

6.7 PROTOCOLO DE EJECUCIÓN Y PARTES DE TRABAJO

6.7.1. Protocolo de ejecución

El Contratista, antes del inicio de la obra, deberá presentar para su aprobación al Director de las Obras, un protocolo indicando cómo va a realizar los micropilotes, que deberá incluir al menos:

- Ubicación y numeración de los micropilotes, referida a planos.
- Sistema de perforación a utilizar en cada uno de los micropilotes, y sistema de sostenimiento temporal de la perforación en caso necesario.
- Diámetros de la perforación y nominal de cada micropilote.
- Inclinación prevista.
- Longitud de cada micropilote y criterios de empotramiento.
- Orden cronológico de ejecución y tiempos de espera necesarios, en su caso.
- Definición de la armadura a utilizar (indicando al menos, diámetros y características del acero), de las uniones, manguitos, centradores, conectadores y otros elementos, en su caso.
- Tiempo máximo que podrá transcurrir entre la finalización de la perforación, instalación de la armadura e inyección del micropilote.
- Características de la lechada o mortero: dosificación de la mezcla (incluyendo aditivos en su caso), resistencia a compresión simple al menos a siete y veintiocho días (7 y 28 d), densidad, viscosidad, estabilidad y tiempo de amasado. Estos valores

se fijarán mediante la realización de ensayos de laboratorio previos y constituirán la fórmula de trabajo de la mezcla de inyección. Se fijará un límite máximo para el tiempo que puede transcurrir desde la ejecución de la mezcla hasta la finalización de la fase de inyección. En caso de que sea necesario para establecer el orden cronológico de ejecución de los micropilotes, se determinará también, mediante ensayos previos, la resistencia a compresión simple a uno y tres días (1 y 3 d) de edad, estimando, si fuera preciso, una curva de evolución de resistencia de la mezcla.

-Características de los equipos de fabricación de la lechada o mortero y sistema de dosificación a emplear.

-Definición del tipo de inyección (IU, IR, IRS), necesidad en su caso de inyección previa, número mínimo de reinyecciones y presión límite del terreno. En el caso de los tipos IR e IRS se indicarán, además, la distancia y situación de las válvulas o manguitos a instalar en la armadura tubular del micropilote y su ubicación aproximada.

-Procedimiento de inyección, que incluya volúmenes (teórico y máximo), caudales, presiones, tiempos de ejecución y criterios para dar por finalizada la fase de inyección.

-Características de los equipos de inyección y sistemas de control y registro de los parámetros de inyección: volúmenes, caudales y presiones de inyección.

-Definición de los ensayos de control a efectuar durante la fase de inyección.

-Descripción de los trabajos a llevar a cabo para la conexión con la estructura existente o encepado.

-Definición de apeos, apuntalamientos y cualquier otra medida provisional a adoptar en la estructura a recalzar y en las del entorno, en su caso.

-Ensayos de carga o pruebas «in situ» de otro tipo, que se hayan previsto.

-Cuando fuera preciso, plan de auscultación de movimientos de la estructura y de las del entorno, en su caso.

-Medidas a adoptar en caso de que durante la ejecución se produzcan imprevistos o se aprecien desviaciones importantes respecto a los parámetros previstos en proyecto, características del terreno, presión de inyección, movimientos excesivos en estructuras, etc.

-Cualquier otra circunstancia que, en función de las características concretas de la obra, deba tenerse en cuenta.

6.7.2. Partes de trabajo

Una vez concluida la ejecución de cada micropilote se realizará un parte de trabajo redactado a partir de lo realmente ejecutado en obra, que incluya al menos la siguiente información:

-Ubicación y numeración de cada micropilote, referida a planos.

-Comprobación del replanteo de cada taladro.

-Datos de la perforación: fecha y horas de inicio y conclusión, longitud, inclinación, tipo de avance (rotación o roto-percusión), tipo de sostenimiento (entubación perdida o recuperable, empleo de lodos, perforación estable, etc.), diámetros (en el terreno y en el cimiento antiguo en su caso), así como descripción cualitativa del terreno y de su dureza, afluencia de agua y cualquier otro dato que se considere relevante. Asimismo deberá hacerse mención expresa a la observación de las tolerancias geométricas referidas en el epígrafe 6.2.4.

-Datos de la armadura (tubular y de acero corrugado en su caso), uniones, manguitos, centradores y otros elementos, conforme a lo especificado en el protocolo de ejecución.

-Datos de la mezcla de inyección: fórmula de trabajo de la lechada o mortero utilizada; fecha y horas de la preparación de la mezcla y de comienzo y final de la

inyección y de las reinyecciones en su caso; tiempo transcurrido entre la finalización de la perforación, instalación de la armadura e inyección; volúmenes inyectados, caudales, presiones, dosificación, tiempo de amasado, densidad y viscosidad; identificación de las probetas tomadas para ensayos y resultados de los mismos.

-Secuencia constructiva realmente seguida, refiriendo fechas y horas de ejecución de cada uno de los micropilotes.

-Incidencias o imprevistos, de cualquier tipo, acaecidos durante la realización de los trabajos y medidas adoptadas ante los mismos.

-Personas responsables de cada comprobación u operación referida en esta parte y equipos de perforación e inyección utilizados.

-Cualquier otro aspecto que, a la luz de lo especificado en el proyecto o en el protocolo de ejecución, se considere relevante.

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL



- OBJETIVO
- CONTROL DE RECEPCIÓN DE MATERIALES
- CONTROL DE EJECUCIÓN
- PRUEBAS DE CARGA

7. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL

7.1 OBJETIVO

Los procedimientos de control en obras de recalce de estructuras tienen por objeto garantizar que los micropilotes están capacitados para absorber las sollicitaciones previstas en el Proyecto y controlar los movimientos de la dicha estructura, o de otras de su entorno inmediato. Dichos procedimientos deberán establecerse de acuerdo con lo especificado en la vigente Instrucción de hormigón estructural (EHE artículo 95), RC y PG-3, así como en el pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto.

Deberán controlarse en cualquier caso, los siguientes aspectos:

-Materiales.

-Cada una de las fases de ejecución:

- Perforación.
- Colocación de la armadura.
- Fabricación de lechada o mortero.
- Inyección.
- Partes de trabajo.

7.2 CONTROL DE RECEPCIÓN DE MATERIALES

En este subcapítulo se expone el proceso de control a que van a estar sometidos los materiales que constituyen la cimentación con micropilotaje “in situ”, ya que habrá de tenerse en cuenta que, los materiales que forman la cimentación que llegan a obra son sometidos a control por parte de la empresa suministradora, quedando así expeditado este tipo de elementos a un control de recepción y ejecución en obra por parte de la Dirección de la Ejecución.

7.2.1 ARMADURA TUBULAR

A los efectos de control del suministro de los productos de acero para armadura tubular, vamos a denominar partida al material que cumpla simultáneamente las siguientes condiciones:

- Que corresponda al mismo tipo de perfil hueco.
- Que corresponda al mismo tipo y grado de acero.
- Que proceda de un mismo fabricante.
- Que haya sido suministrado de una vez.

No podrán utilizarse productos de acero como armadura tubular que no adjunte la documentación indicada a continuación:

- A la entrega de cada suministro se aportará un albarán con documentación anexa, conteniendo, entre otros, los siguientes datos:

- Nombre y dirección de la empresa suministradora.
- Fecha de suministro.
- Identificación del vehículo que lo transporta.
- Número de partidas que componen el suministro, identificando, para cada partida, al fabricante y su contenido (peso, número de perfiles, tipo y grado de acero del material base de partida).

- Además, cada partida deberá llegar acompañada de la siguiente documentación:

- Certificado del fabricante, firmado por persona física, en el que se indiquen los valores de las diferentes características especificadas en la norma UNE EN 10210 ó UNE EN 10219, según corresponda.
- Resultados de los ensayos que justifiquen que los productos de acero cumplen las características anteriormente citadas.

Una vez comprobada la documentación que debe acompañar al suministro, se debe proceder a comprobar el correcto marcado de los perfiles o paquetes de perfiles, que debe incluir la designación abreviada de la norma que corresponda, el tipo y grado de acero y el nombre o las siglas del fabricante.

Ejemplo: EN10210 - S275 JO + Marca del fabricante

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto incluirá los criterios para llevar a cabo el control de los acopios.

LISTA DE CONTROL DE RECEPCIÓN DE MATERIALES

OBRA:
SITUACIÓN:
INSPECTOR:
FECHA INSPECCIÓN:

ARMADURA TUBULAR	FDO. ENCARGADO INSPECCIÓN		
<u>Tipo de perfil hueco:</u>	<u>Observaciones:</u>		
<u>Grado de Acero:</u>			
<u>Fabricante:</u>			
<u>Cantidad Suministrado:</u>			
COMPROBACIÓN DE DOCUMENTACIÓN			
Albarán de Entrega	Si	No	Observaciones
Nombre y dirección de la empresa suministradora.			
Fecha de suministro.			
Identificación del vehículo que lo transporta.			
Número de partidas			
Otra Documentación	Si	No	Observaciones
Certificado del fabricante			
Resultados de Ensayos			

7.2.2 BARRAS DE ACERO CORRUGADO

CONTROL DE LA CALIDAD DEL ACERO. ARTÍCULO 90 EHE.

Para el control del acero se establecen dos niveles, que son:

- Control a nivel reducido
- Control a nivel normal

CONTROL A NIVEL REDUCIDO.

Este nivel de control, que sólo será aplicable para armaduras pasivas, se contempla en aquellos casos en los que el consumo de acero de la obra es muy reducido o cuando existen dificultades para realizar ensayos completos sobre el material. El acero a utilizar estará certificado. Este nivel de control consiste en comprobar, sobre cada diámetro:

- Que la sección equivalente cumple con las series de barras corrugadas y en su caso con las de las mallas electrosoldadas.
- Que no se formen grietas o fisuras en las zonas de doblado y ganchos de anclaje, mediante inspección en obra.

Condiciones de aceptación o rechazo.

Comprobación de la sección equivalente:

- o Si las dos comprobaciones que han sido realizadas resultan satisfactorias, la partida quedará aceptada.
- o Si se registra un sólo resultado no satisfactorio, se comprobarán cuatro nuevas muestras correspondientes a la partida que se controla. Si alguna de estas nuevas cuatro comprobaciones resulta no satisfactoria, la partida será rechazada. En caso contrario será aceptada.

Formación de grietas o fisuras en los ganchos de anclaje:

- o La aparición de grietas o fisuras en los ganchos de anclaje o zonas de doblado de cualquier barra, obligará a rechazar toda la partida a la que corresponda la barra.

CONTROL A NIVEL NORMAL.

Este nivel de control se aplica a todas las armaduras, tanto activas como pasivas, distinguiéndose los casos de productos certificados o productos no certificados.

En el caso de las armaduras pasivas, todo el acero de la misma designación que entregue un mismo suministrador se clasificará, según su diámetro, en serie fina (diámetros inferiores o iguales a 10 mm), serie media (diámetros 12 a 25 mm) y serie gruesa (superior a 25 mm). En el caso de armaduras activas, el acero se clasificará según este mismo criterio, aplicado al diámetro nominal de las armaduras.

Condiciones de aceptación o rechazo.

Se procede de la misma forma tanto para aceros certificados como no certificados.

Comprobación de la sección equivalente:

- Si las dos comprobaciones que han sido realizadas resultan satisfactorias, la partida quedará aceptada.
- Si se registra un sólo resultado no satisfactorio, se comprobarán cuatro nuevas muestras correspondientes a la partida que se controla. Si alguna de estas nuevas cuatro comprobaciones resulta no satisfactoria, la partida será rechazada. En caso contrario será aceptada.

Características geométricas de los resaltos de las barras corrugadas:

- El incumplimiento de los límites admisibles establecidos en el certificado específico de adherencia será condición suficiente para que se rechace el lote correspondiente.

Ensayos de doblado – desdoblado:

- Si se produce algún fallo se someterán a ensayo cuatro nuevas probetas del lote correspondiente.

Ensayos de tracción para determinar el límite elástico, la carga de rotura y el alargamiento en rotura:

Mientras los resultados de los ensayos sean satisfactorios, se aceptarán las barras del diámetro correspondiente. Si se registra algún fallo, todas las armaduras de ese mismo diámetro existentes en obra y las que posteriormente se reciban, serán clasificadas en lotes correspondientes a las diferentes partidas suministradas, continuando como indica el artículo 90.5 de la EHE.

LISTA DE CONTROL DE RECEPCIÓN DE MATERIALES

OBRA:
SITUACIÓN:
INSPECTOR:
FECHA INSPECCIÓN:

ACERO	FDO. ENCARGADO INSPECCIÓN	
Producto certificado		
Designación del acero:		
Producto no certificado		
Designación del acero:		
	SI / NO	<u>OBSERVACIONES</u>
PRODUCTOS CERTIFICADOS		
Con distintivo de calidad AENOR		
Con distintivo de calidad CC-EHE		
Justificación de cumplimiento de requisitos de las barras corrugadas según 31.2 EHE.		
Certificado específico de adherencia		
Certificado de garantía del fabricante		
Resultados de los ensayos de control de producción		
Presenta el producto algún nivel de oxidación		
PRODUCTOS NO CERTIFICADOS		
Justificación de cumplimiento de requisitos de las barras corrugadas según 31.2 EHE.		
Certificado específico de adherencia		
Presenta el producto algún nivel de oxidación		
Resultados de los ensayos de composición química, características mecánicas y geométricas		
ENSAYOS DE CONTROL DEL ACERO		
Control a nivel reducido - Acero certificado		
Control a nivel normal		
Serie fina		

Serie media		
Serie gruesa		

7.2.3 CEMENTO

A la entrega del cemento, ya sea el cemento expedido a granel o en sacos, el suministrador aportará un albarán, con documentación anexa si fuera necesario, que contenga los siguientes datos:

1. Identificación de las instalaciones de suministro de cemento:

a) Nombre de la fábrica que ha producido el cemento, indicando el tipo de fábrica

b) Nombre y dirección registrada de la empresa suministradora; adicionalmente, nombre y dirección de la empresa fabricante del cemento si es distinta de la suministradora.

c) Identificación del centro de suministro, en su caso (punto de expedición, centro de distribución o almacén de distribución).

2. Fecha de suministro.

3. Identificación del vehículo que lo transporta (matrícula).

4. Cantidad que se suministra.

5. Designación normalizada del cemento conforme a esta instrucción.

6. Nombre y dirección del comprador y punto de destino del cemento.

7. Referencia del pedido.

8. Referencia a las normas EN y UNE de especificaciones aplicables al cemento suministrado.

9. Advertencias en materia de seguridad y salud para la manipulación del producto.

10. Restricciones de empleo.

11. Información adicional necesaria, en su caso:

a) Límite de cloruros en %, sólo cuando el cemento común fabricado tiene un contenido de cloruros superior al límite (especificado en la tabla 4.1.3.de la RC-08)

b) Límite de pérdida por calcinación de las cenizas volantes del siete %, sólo cuando, de acuerdo con el apartado 5.2.4.1 de UNE-EN 197-1:2000, se utilice una ceniza volante con una pérdida por calcinación comprendida entre el cinco % y el siete %.

c) Nomenclatura normalizada de aditivos, sólo cuando, de acuerdo con el apartado 5.5 de UNE-EN 197-1:2000, se utilice un aditivo conforme con UNE-EN 934:1998.

12. En su caso, logotipo del marcado "CE" y el número de identificación del organismo de certificación.

13. En su caso, contraseña del certificado de conformidad con los requisitos reglamentarios.

14. En su caso, número del certificado de conformidad "CE".

15. En su caso, referencia al distintivo oficialmente reconocido en el sentido expuesto en el artículo 11.4.1 de la RC-08, y mención del número del certificado correspondiente y año de concesión.

Además del albarán, la empresa suministradora facilitará la documentación adicional que se relaciona a continuación, salvo en el caso de cementos para usos no estructurales donde la dirección facultativa o, en su caso, el responsable de la recepción podrá renunciar a disponer de aquélla:

1. Al inicio del suministro, un documento firmado por persona física con poder de representación en la empresa en el que se ponga de manifiesto el compromiso de garantía de que el cemento a suministrar cumple las especificaciones de esta instrucción, y en el que se recoja, al menos, la siguiente información:

a) Identificación del cliente y lugar de suministro (obra, central de hormigón, fábrica, etc.).

b) Designación de los cementos amparados por la garantía

c) Plazo de validez del documento que no podrá ser superior a seis meses.

2. Con periodicidad mensual, y para cada tipo y clase de cemento suministrado, un certificado de evaluación estadística de la producción de los últimos seis meses, sellado por la empresa suministradora. Se tendrá en cuenta que:

a) En el caso de que el cemento esté en posesión del marcado "CE", esta documentación podrá ser sustituida por copia de un certificado de evaluación

estadística de los últimos 12 meses, expedido por el organismo notificado y con una antigüedad máxima de seis meses.

b) En el caso de que el cemento esté en posesión de un distintivo oficialmente reconocido en el sentido expuesto en el artículo 11.4.1 de la RC-08, esta documentación podrá ser sustituida por copia de un certificado análogo al anterior, expedido trimestralmente por el organismo certificador. Alternativamente, esta documentación podrá ser sustituida por la posibilidad de acceso a la misma información, pero suministrada por el organismo certificador y a la que pueda accederse en cualquier momento por los clientes a través de una página web.

En todos los casos, el certificado de evaluación estadística deberá contener, al menos, la siguiente información:

- a) Nombre de la fábrica.
- b) Nombre de la empresa.
- c) Designación del cemento.
- d) Período de referencia del control de producción.
- e) Número de muestras consideradas en el control de producción.
- f) Fecha de expedición del certificado.

Para las características controladas por variables, se aportará la siguiente información, tanto para los resultados del control de producción, como para las muestras de contraste, en su caso:

- a) Especificación, según esta instrucción.
- b) Valor medio.
- c) Número de ensayos.
- d) Desviación típica.
- e) Valor inferior.
- f) Valor superior.

Para las características controladas por atributos, se aportará la siguiente información, tanto para los resultados del control de producción, como para las muestras de contraste, en su caso:

- a) Especificación, según esta instrucción.
- b) Valor medio.
- c) Número de ensayos.
- d) Número de resultados defectuosos.
- e) Número de resultados defectuosos admisibles, según conforme a las normas referidas en el artículo 3 de la RC-08.

El conjunto de estos documentos tendrá carácter de certificado de garantía del fabricante, para cada uno de los lotes suministrados durante el período de validez del compromiso de garantía.

En el caso de cementos comunes, y cuando el cliente o, en su caso, la dirección facultativa lo solicite, y de acuerdo con el anejo ZA de UNE-EN 197-1:2000, el fabricante entregará una declaración de conformidad del fabricante, en la que debe incluir además de la declaración de que su cemento es conforme con las normas de especificaciones correspondientes, al menos, la siguiente información:

- a) Nombre y dirección del fabricante, o su representante legal establecido en el Espacio Económico Europeo.
- b) Número del certificado de conformidad "CE".
- c) Nombre y cargo de la persona con poder de representación para firmar la declaración de parte del fabricante o de su representante autorizado

Además comprobará:

- a) Que el material dispone de la documentación que acredite que está legalmente fabricado y comercializado, conforme a lo establecido en el artículo 2 de la RC-03
- b) Que la documentación de suministro es conforme a lo establecido en el artículo 9 de esta instrucción.

En caso de que el cemento esté en posesión de un distintivo oficialmente reconocido en el sentido expuesto en el apartado 4.1 de la RC-03:

c) Certificado que acredite que, en la fecha de recepción, posee un distintivo oficialmente reconocido en el sentido expuesto en el apartado 11.4.1 de la RC-08. Este certificado debe contemplar todos los datos relevantes sobre el plan de muestreo, incluido el riesgo del consumidor considerado en aquél.

Cuando el cemento vaya a ser empleado en la fabricación de hormigón estructural se comprobará además:

d) Que la remesa dispone del certificado de garantía del fabricante firmado por persona física, según lo especificado en la Instrucción EHE.

Esta documentación deberá ser registrada, archivada y custodiada por el responsable de la recepción, para cada tipo de cemento suministrado, junto con las actas de toma de muestras.

Cuando el suministro se realice en sacos, el cemento se recibirá en los mismos envases cerrados en que fue expedido de fábrica, punto de expedición, centro de distribución o almacén de distribución.

El cemento no llegará a la obra excesivamente caliente. Se recomienda que, si su manipulación se va a realizar por medios mecánicos, su temperatura no exceda de 70°C, y si se va a realizar a mano, no exceda de 40°C.

Almacenamiento

Cuando el suministro se realice en sacos, éstos se almacenarán en sitio ventilado y defendido, tanto de la intemperie como de la humedad del suelo y de las paredes. Si el suministro se realiza a granel, el almacenamiento se llevará a cabo en silos o recipientes que lo aíslen de la humedad.

Aún en el caso de que las condiciones de conservación sean buenas, el almacenamiento del cemento no debe ser muy prolongado, ya que puede meteorizarse. El almacenamiento máximo aconsejable es de tres meses, dos meses y un mes, respectivamente, para las clases resistentes 32,5, 42,5 y 52,5. Si el período de almacenamiento es superior, se comprobará que las características del cemento continúan siendo adecuadas. Para ello, dentro de los veinte días anteriores a su empleo, se realizarán los ensayos de determinación de principio y fin de fraguado y resistencia mecánica inicial a 7 días (si la clase es 32,5) ó 2 días (todas las demás clases) sobre una muestra representativa del cemento almacenado, sin excluir los terrones que hayan podido formarse.

De cualquier modo, salvo en los casos en que el nuevo período de fraguado resulte incompatible con las condiciones particulares de la obra, la sanción definitiva acerca de la idoneidad del cemento en el momento de su utilización vendrá dada por los resultados que se obtengan al determinar, de acuerdo con lo prescrito en el Artículo 88º de la EHE, la resistencia mecánica a 28 días del hormigón con él fabricado.

LISTA DE CONTROL DE RECEPCIÓN DE MATERIALES

OBRA:
SITUACIÓN:
INSPECTOR:
FECHA INSPECCIÓN:

CEMENTO	FDO. ENCARGADO INSPECCIÓN	
Designación por propiedades:		
	OBSERVACIONES	
Empresa suministradora		
Tipo		
Tipo de suministro	Sacos	Granel
Certificado de calidad		
Comprobación de albarán		
Certificado de garantía del fabricante		
ADITIVOS		
Empresa suministradora		
Tipo		
Tipo de suministro	Sacos	Granel

Certificado de calidad		
Comprobación de albarán		
Certificado de garantía del fabricante		

7.2.4 HORMIGÓN

CONTROL DE LA CALIDAD DEL HORMIGÓN. CAPÍTULO XIV DE LA EHE.

El control de la calidad del hormigón con el que se va a realizar los distintos sistemas estructurales necesarios para los recalces comprenderá:

- Control de consistencia
- Control de resistencia
- Control de la durabilidad

Además en el caso, (no normal pero posible) que el hormigón sea fabricado en central, se comprobará que cada amasada de hormigón esté acompañada por una hoja de suministro debidamente cumplimentada y firmada por una persona física, que debe contener, como mínimo, los siguientes datos: (Art. 69.2.9.1. EHE)

1. Nombre de la central de fabricación de hormigón.
2. Número de serie de la hoja de suministro.
3. Fecha de entrega.
4. Nombre del peticionario y del responsable de la recepción.
5. Especificación del hormigón.
 - a) En el caso de que el hormigón se designe por propiedades:
 - Designación de acuerdo con el apartado 39.2. (EHE).
 - Contenido de cemento en kilos por metro cúbico (kg/m^3) de hormigón, con una tolerancia de ± 15 kg.
 - Relación agua/ cemento del hormigón, con una tolerancia de $\pm 0,02$.

En el caso de que el hormigón se designe por dosificación:

- Contenido de cemento por metro cúbico de hormigón.
- Relación agua/ cemento del hormigón, con una tolerancia de $\pm 0,02$.
- El tipo de ambiente.

b) Tipo, clase y marca del cemento.

c) Consistencia.

d) Tamaño máximo del árido.

e) Tipo de aditivo, según UNE-EN 934-2:98, si lo hubiere, y en caso contrario indicación expresa de que no contiene.

f) Procedencia y cantidad de adición (cenizas volantes o humo de sílice) si la hubiere y, en caso contrario, indicación expresa de que no contiene.

6. Designación específica del lugar del suministro (nombre y lugar).

7. Cantidad del hormigón que compone la carga, expresada en metros cúbicos de hormigón fresco.

8. Identificación del camión hormigonera (o equipo de transporte) y de la persona que proceda a la descarga, según 69.2.9.2. (EHE).

9. Hora límite de uso para el hormigón.

7.2.4.1 CONTROL DE LA CONSISTENCIA. ARTICULO 83 EHE.

La consistencia es especificada mediante el cono de Abrams de acuerdo con UNE 83313:90, obteniéndose como media aritmética de dos valores.

- Siempre que se fabriquen probetas para controlar la resistencia.
- En los casos de control reducido.
- Cuando ordene la Dirección de Obra.

CONSISTENCIA DEFINIDA POR SU TIPO		
Tipo de consistencia	Tolerancia en cm	Intervalo resultante
Seca	0	0 – 2
Plástica	± 1	2 – 6

Blanda	± 1	5 – 10
Fluida	± 2	8 – 17
CONSISTENCIA DEFINIDA POR SU ASIENTO		
Asiento en cm	Tolerancia en cm	Intervalo resultante
Entre 0 – 2 cm	± 1	A ± 1
Entre 3 – 7 cm	± 2	A ± 2
Entre 8 – 12 cm	± 3	A ± 3

Tabla 7.1. Tolerancias para la consistencia del hormigón. Tabla 30.6. EHE.

Crterios de aceptaci3n y rechazo.

Si la consistencia se ha definido por su tipo, la media aritmética de los dos valores obtenidos tiene que estar comprendida dentro del intervalo correspondiente.

Si la consistencia se ha definido por su asiento, la media de los dos valores debe estar comprendida dentro la tolerancia.

El incumplimiento de las condiciones anteriores implicará el rechazo automático de la amasada correspondiente y la correcci3n de la dosificaci3n.

7.2.4.2. CONTROL DE LA RESISTENCIA. ARTÍCULO 84 EHE.

El control de la resistencia es realizado mediante ensayos previos, característicos y de control, los cuales se refieren a probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, fabricadas, curadas y ensayadas a compresi3n a 28 días de edad segun UNE 83301:91, UNE 83303:84 y UNE 83304:84. Este control tambi3n se realiza mediante ensayos de informaci3n.

7.2.4.3. ENSAYOS PREVIOS DEL HORMIGÓN. Artículo 86 EHE.

Serán realizados en laboratorio antes de comenzar con el hormigonado de la obra. Su objeto es establecer la dosificaci3n que habrá de emplearse, teniendo en cuenta los materiales disponibles y aditivos que se vayan a emplear y las condiciones de ejecuci3n previstas.

- Se fabricarán al menos cuatro series de probetas procedentes de amasadas distintas, de dos probetas cada una.
- La media de las dos probetas es la resistencia de cada amasada.

- La media de todas las amasadas es la resistencia media que proporciona la dosificación.

7.2.4.4. ENSAYOS CARACTERÍSTICOS. Artículo 87 EHE.

Estos ensayos tienen por objeto garantizar, antes del proceso de hormigonado, la idoneidad de la dosificación que se va a utilizar y del proceso de fabricación que se va a emplear, para conseguir hormigones de la resistencia prevista en el proyecto.

- De seis amasadas diferentes, elaborar dos probetas por amasada.
- La media de las dos probetas es la resistencia de cada amasada, obteniéndose la serie de seis resultados medios, que se ordenarán de menor a mayor.

7.2.4.5. ENSAYOS DE CONTROL DEL HORMIGÓN. Artículo 88 EHE.

Estos ensayos son preceptivos en todos los casos y tienen por objeto comprobar que la resistencia característica del hormigón de la obra es igual o superior a la de proyecto.

El control podrá realizarse según las siguientes modalidades.

- Control a nivel reducido
- Control al 100 por 100, cuando se conozca la resistencia de todas las amasadas.
- Control estadístico del hormigón, cuando sólo se conozca la resistencia de una fracción de las amasadas que se colocan.

Control a nivel reducido.

Es realizado mediante la medición de la consistencia del hormigón, fabricado de acuerdo con dosificaciones tipo.

Se realizan cuatro ensayos a lo largo del día, quedando constancia a través de los valores obtenidos y decisiones adoptadas en cada caso.

Este nivel de control sólo puede utilizarse para obras de ingeniería de pequeña importancia, en edificios de viviendas de una o dos plantas con luces inferiores a 6,00 metros o en elementos que trabajen a flexión de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas, también con luces

inferiores a 6,00 metros. No está permitido este nivel de control en hormigones sometidos a clases de exposición III y IV.

Control al 100 por 100.

De aplicación a cualquier obra, se realiza determinando la resistencia de todas las amasadas componentes de la parte de obra sometida a control.

En la mayoría de las obras este tipo de control no suele utilizarse debido al elevado número de probetas que implica y con ello el elevado costo del control.

Control estadístico.

Esta modalidad de control es la de aplicación general a obras de hormigón en masa, armado y pretensado. Para la realización de este tipo de control, se dividirá en lotes con unas limitaciones según la tabla siguiente. No se mezclarán en un mismo lote elementos de tipología estructural distinta y todas las unidades de producto que pertenezcan a un mismo lote procederán del mismo suministrador, estarán elaboradas con las mismas materias primas y serán el resultado de la misma dosificación.

Limites máximos para el establecimiento de los lotes de control. Tabla 88.4.a. EHE

Tabla 7.2.

Límite superior	TIPO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		
	Estructuras que tienen elementos comprimidos (pilares, pilas, muros portantes, pilotes, etc.)	Estructuras que tienen únicamente elementos sometidos a flexión (forjados de hormigón con pilares metálicos, tableros, muros de contención, etc.)	Macizos (zapatas, estribos de puente, bloques, etc.)
Volumen de hormigón	100 m ³	100 m ³	100 m ³
Número de amasadas (1)	50	50	100
Tiempo de hormigonado	2 semanas	2 semanas	1 semana
Superficie construida	500 m ²	1000 m ²	–
Número de plantas	2	2	–

(1) Este límite no es obligatorio en obras de edificación.

En el caso de hormigones fabricados en central con posesión de un Sello o Marca de Calidad, se podrán aumentar los límites de la tabla 7.2 al doble, siempre y cuando se den además las siguientes condiciones:

- Los resultados de control de producción están a disposición del peticionario y deberán ser satisfactorios.
- El número mínimo de lotes que deberá muestrearse en obra será de tres, correspondiendo, si es posible, a lotes relativos a los tres tipos de elementos estructurales que figuran en la tabla anterior.
- En el caso de que en algún lote la f_{est} fuera menor que la resistencia característica de proyecto, se pasará a realizar el control normal sin reducción de intensidad, hasta que en cuatro lotes consecutivos se obtengan resultados satisfactorios.

El control se realizará determinando la resistencia de N amasadas por lote, siendo:

$$\text{Si } f_{ck} \leq 25 \text{ N/mm}^2: \quad N \geq 2$$

$$25 \text{ N/mm}^2 < f_{ck} \leq 35 \text{ N/mm}^2: \quad N \geq 4$$

$$f_{ck} > 35 \text{ N/mm}^2: \quad N \geq 6$$

Ordenados los resultados de las determinaciones de resistencia de las N amasadas controladas en la forma:

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \leq \dots \leq x_N$$

Se define como resistencia característica estimada, en este nivel, la que cumple las siguientes expresiones:

$$\text{Si } N < 6: \quad ; f_{est} = K_N \cdot x_1$$

$$\text{Si } N \geq 6: \quad ; f_{est} = 2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1}}{m-1} - x_m \leq K_N \cdot x_1$$

donde:

K_N Coeficiente dado en la tabla 88.4.b. de la EHE en función de N y clase de instalación en que se fabrique el hormigón.

x_1 Resistencia de la amasada de menor resistencia.

m $N/2$ si N es par y $(N-1)/2$ si N es impar.

7.2.4.6. CONTROL DE LA DURABILIDAD. ARTÍCULO 85 EHE.

Para llevar a cabo el control de la durabilidad del hormigón se realizarán los siguientes controles:

- a) Control documental de las hojas de suministro, con objeto de comprobar el cumplimiento de las limitaciones de la relación *a/c* y del contenido de cemento especificados en 37.3.2. de la EHE.
- b) Control de la profundidad de penetración de agua, en los casos indicados en 37.3.2, y de acuerdo con el procedimiento descrito en 85.2, artículos, estos dos, de la Instrucción EHE.

7.2.4.7. ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA. ARTÍCULO 89 EHE.

Estos ensayos sólo son preceptivos en los casos previstos por la Instrucción EHE en sus artículos 72 y 75 y en 88.5, o cuando así lo indique el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. El objeto de este tipo de ensayos es estimar la resistencia del hormigón de una parte determinada de la obra, a una cierta edad o tras un curado en las mismas condiciones que las de la obra.

Los ensayos de información del hormigón pueden consistir en:

- La fabricación y rotura de probetas, conservándolas en condiciones, que sean lo más parecidas posible a las que se encuentra el hormigón cuya resistencia se pretende estimar.
- La rotura de probetas testigo extraída del hormigón endurecido.
- El empleo de otros métodos no destructivos fiables complementarios de los anteriores.

LISTA DE CONTROL DE RECEPCIÓN DE MATERIALES

OBRA:

SITUACIÓN:

INSPECTOR:

FECHA INSPECCIÓN:

HORMIGÓN	FDO. ENCARGADO INSPECCIÓN	
Designación por propiedades:		
Designación por dosificación:		
	SI / NO	OBSERVACIONES
HORMIGÓN FABRICADO EN CENTRAL		
Certificado de calidad		
Acompaña hoja de suministro		
Documentación acreditativa de realización de ensayos		
Corresponde el tipo de hormigón pedido con el recibido en obra		
Tiempo transporte (< 1h 30 min.).		
Principio de fraguado		
Adición de sustancias que puedan alterar la masa fresca		
Ensayos previos		
Ensayos característicos, en su caso		
Ensayos de información complementaria, en su caso		
ENSAYOS DE CONTROL DEL HORMIGÓN		
Control a nivel reducido		
Control al 100 por 100		
Control estadístico		

7.3 CONTROL DE EJECUCIÓN

7.3.1. CONTROL DE LA PERFORACIÓN Y COLOCACIÓN DE LA ARMADURA

Durante la ejecución de los micropilotes se comprobará que se cumplen los procedimientos y secuencias constructivas establecidas en el proyecto y en el protocolo de ejecución.

Al realizar la perforación se comprobará que el estado y características del terreno se corresponden con las previstas en el proyecto. En caso contrario se deberán analizar las potenciales repercusiones de dichas variaciones en la propia concepción del micropilote y en su proceso de ejecución.

Se comprobará el replanteo de cada uno de los micropilotes, ejecutándose posteriormente la perforación con las tolerancias geométricas establecidas. Respecto a la colocación de la armadura se deberá verificar el cumplimiento de lo indicado en el apartado 6.3 de este trabajo.

7.3.2. CONTROL DE LA FABRICACIÓN DE LA LECHADA O MORTERO Y DEL PROCESO DE INYECCIÓN

Se efectuarán controles para verificar la idoneidad, tanto de la fabricación de la mezcla, como del proceso de inyección. En el proyecto o en el protocolo de ejecución, se dividirá la obra en lotes de control y se fijará el número de muestras y ensayos a llevar a cabo por cada lote, atendiendo a las características de la obra, la función de los micropilotes, el carácter temporal o permanente de los mismos, etc., incluyendo como mínimo los siguientes:

- Se llevarán cabo con frecuencia diaria, al menos los siguientes controles:

- Tiempo de amasado.
- Relación agua/cemento (a/c).
- Cantidad de aditivo utilizado.
- Viscosidad con el cono Marsh.
- Densidad aparente de la lechada con una balanza de lodos, inmediatamente antes de la inyección.

- Al menos dos veces por semana se efectuará una toma de muestras para realizar los siguientes ensayos:

- De resistencia a compresión de la lechada o mortero, mediante la rotura de tres (3) probetas a veintiocho días (28 d) de edad.
- De exudación y reducción de volumen. Se comprobará que los valores de los parámetros controlados coinciden con los establecidos en el proyecto y en el protocolo de ejecución.

7.3.3. PARTES DE TRABAJO

Una vez se haya completado cada micropilote se realizará un parte de trabajo de ejecución, con el contenido mínimo especificado en el apartado 6.7.2 .de este trabajo.

Se comprobará que existe un parte de trabajo para cada micropilote ejecutado, y que estos tienen que estar siempre a disposición del director de ejecución y debidamente archivados junto con toda la documentación de la obra.

7.4 PRUEBAS DE CARGA

Debido a la multiplicidad de causas que pueden motivar la realización de este tipo de ensayos, la topología del mismo deberá venir especificada en el Proyecto, en el protocolo que el Contratista presente antes del inicio de las Obras, o en su caso durante la ejecución de las mismas así lo estimara conveniente el Director de las Obras.

Los principales tipos de prueba de carga pueden clasificarse en función del esfuerzo aplicado (compresión, tracción o carga lateral), y del valor del mismo alcanzado en la prueba con relación a su capacidad última, pudiendo llegarse hasta la rotura.

El numero y tipo de ensayos a efectuar se determinará en el Proyecto, o a criterio del Director de las Obras en función de la importancia de éstas, del número de micropilotes existentes y del nivel de conocimiento, homogeneidad y naturaleza del terreno.

A titulo orientativo se puede estimar el número de pruebas de carga de investigación en torno al 1% de los micropilotes proyectados, y el número de pruebas de carga de idoneidad en el entorno del 3-5% de los micropilotes realmente ejecutados en obra.

Estos porcentajes se podrán reducir cuando existan datos de pruebas de carga efectuadas en condiciones similares a las del Proyecto.

7.4.1 Ejemplo pruebas de carga

Sin fijar a priori el procedimiento especial a adoptar en cada caso, a modo de ejemplo se recoge un posible desarrollo de una prueba de carga en una determinada situación concreta, a compresión

1. Se somete al micropilote a una carga máxima de prueba de valor 1,5 veces la carga nominal.
2. Se aplica esta carga en tres escalones, a 1/3, 2/3 y el 100% de la carga de prueba, equivalentes a 0,5, 1 y 1,5 veces la carga nominal.

3. Después de aplicar la carga máxima de cada escalón, se descarga completamente el micropilote.
4. Se mide para cada carga aplicada el asentamiento del micropilote, con la media de al menos dos extensómetros, hasta que se estabilice el movimiento (se considera estabilizado el movimiento cuando en un intervalo de 15 minutos no se ha producido un incremento de movimiento superior al 5% del movimiento total medido en la fase inmediatamente anterior).

Se considera que el micropilote es válido cuando se cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes:

Desplazamiento remanen: $S_{rem} < 0,3 S_{nom}$

Desplazamiento nominal: $0,5 S_{max} < S_{nom} < 0,70 S_{max}$

PRINCIPALES ASPECTOS EN LA DIRECCIÓN DE LA EJECUCIÓN



- ESTUDIO DEL PROYECTO DE EJECUCIÓN
- VISITA Y ANALISIS DEL EDIFICIO A RECALZAR ASÍ COMO DE LOS COLINDANTES
- ESTUDIO DE LA PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA OBRA CON EL CONTRUCTOR EN CUMPLIMIENTO CON EL PLAN DE SEGURIDAD
- REALIZACIÓN DE TRABAJOS PREVIOS A LA RELIZACIÓN DE LA OBRA
- COLOCACIÓN Y CONTROL DE TESTIGOS DE ASENTAMIENTO DEL EDIFICIO AFECTADO Y DE LOS COLINDANTES
- RECEPCIÓN Y CONTROL DE LAS MÁQUINAS, MEDIOS AUXILIARES Y MATERIALES A UTILIZAR EN LA OBRA
- EJECUCIÓN DE LA OBRA
- LIMPIEZA Y RESTAURACIÓN DE LA ZONA AFECTADA EN LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE LOS TESTIGOS INSTALADOS, EN LOS MESES POSTERIORES A LA TERMINACIÓN DE LA OBRA

8. PRINCIPALES ASPECTOS EN LA DIRECCIÓN DE LA EJECUCIÓN

En este apartado nos vamos a centrar en la actuación completa que debe realizar el Arquitecto Técnico, actuando como dirección de la ejecución, en un trabajo de Recalce de una Cimentación mediante micropilotaje.

- Estudio del proyecto de ejecución.
- Visita y análisis del estado inicial del edificio a recalzar así como de los edificios colindantes.
- Estudio de la planificación y ejecución de la obra con el constructor en cumplimiento con el Plan de Seguridad.
- Realización de trabajos previos a la realización de la obra.
 - Derribo partes interiores (tabiquería, falsos techos, lavabos, pavimento...)
 - Estructuras provisionales de sostenimiento para el paso de maquinaria.
- Colocación y control de testigos de asentamiento del edificio afectado y de los colindantes.
- Recepción y control de las máquinas, medios auxiliares y materiales a utilizar en la obra.
- Ejecución de la obra:
 - Descubrimiento de los elementos a recalzar (zapatas, muros, terrenos...)
 - Replanteo de la situación de perforación de los micropilotes.
 - Acceso de la maquinaria, materiales y demás elementos necesarios para la ejecución.
 - Realización de los micropilotes.
 - Control de los materiales a emplear (cemento, acero, áridos, agua....)

- Ejecución de conexiones con la cimentación
 - Armado
 - Encofrado
 - Hormigonado
- Trabajos especiales
 - Limpieza y restauración de la zona afectada en la obra.

-Seguimiento de los testigos instalados, en los meses posteriores a la terminación de la obra.

8.1-ESTUDIO DEL PROYECTO DE EJECUCIÓN

El primer paso a realizar como Director de la ejecución, será el estudio del proyecto de la obra de recalce a ejecutar. Para ello habrá que realizar un análisis minucioso de todas las partes que lo componen tal y como se expone en Capítulo 4.

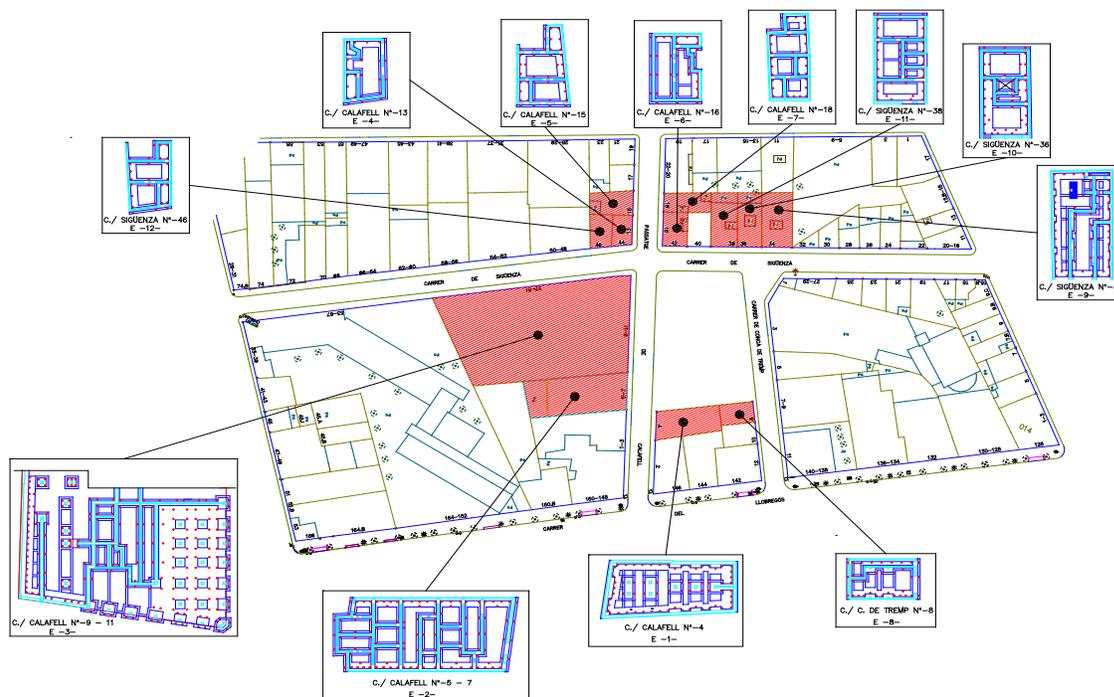


FIG.- 8.1 Proyecto de Micropilotaje de 12 edificios en el barrio de El Carmel en Barcelona. (Fuente RODIO)

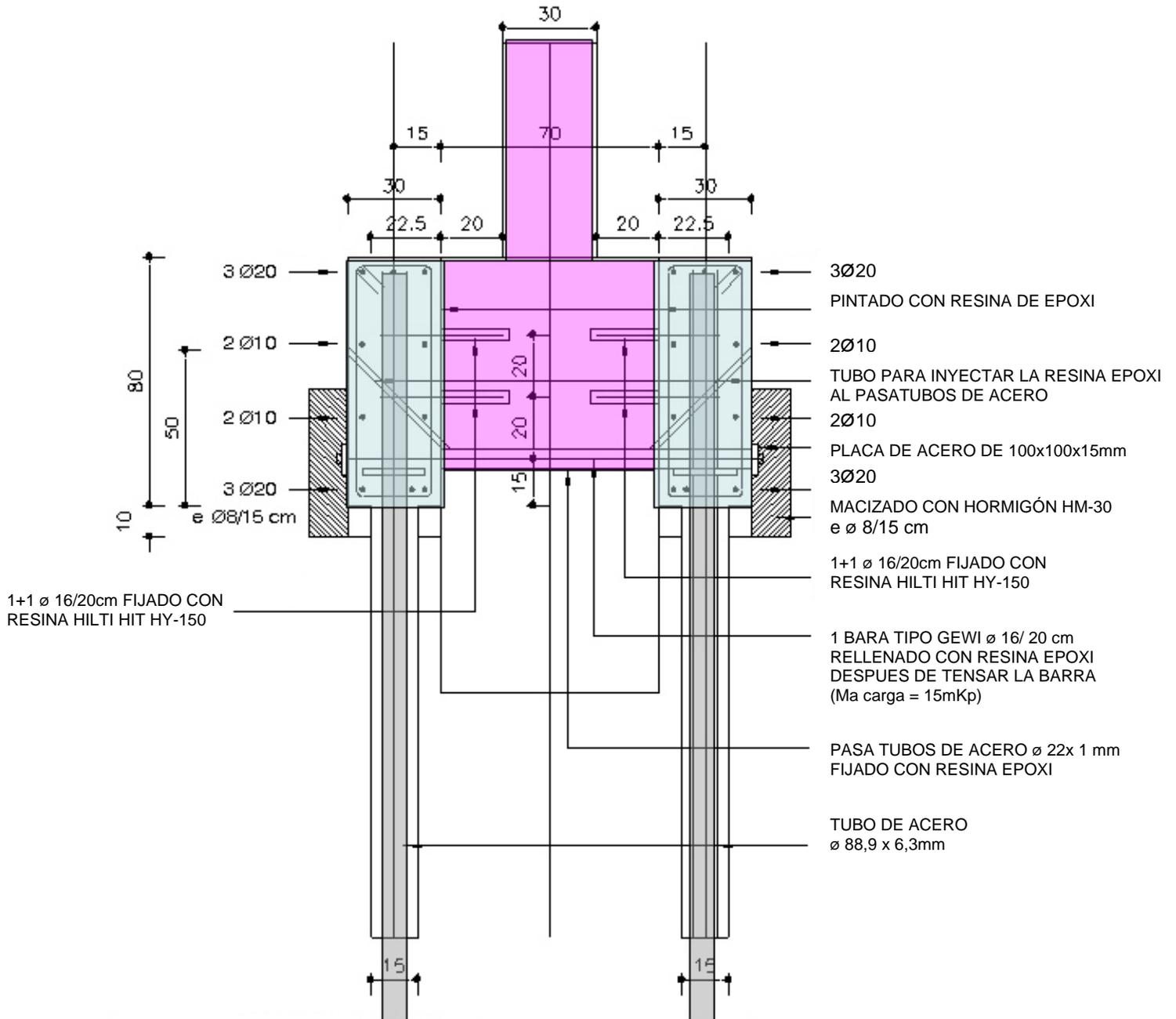


Fig.- 8.2. Detalle constructivo de unas de las soluciones adoptadas para una obra de recalce en Barcelona en la cual el cemento estaba en relativo buen estado. (Fuente Autor)

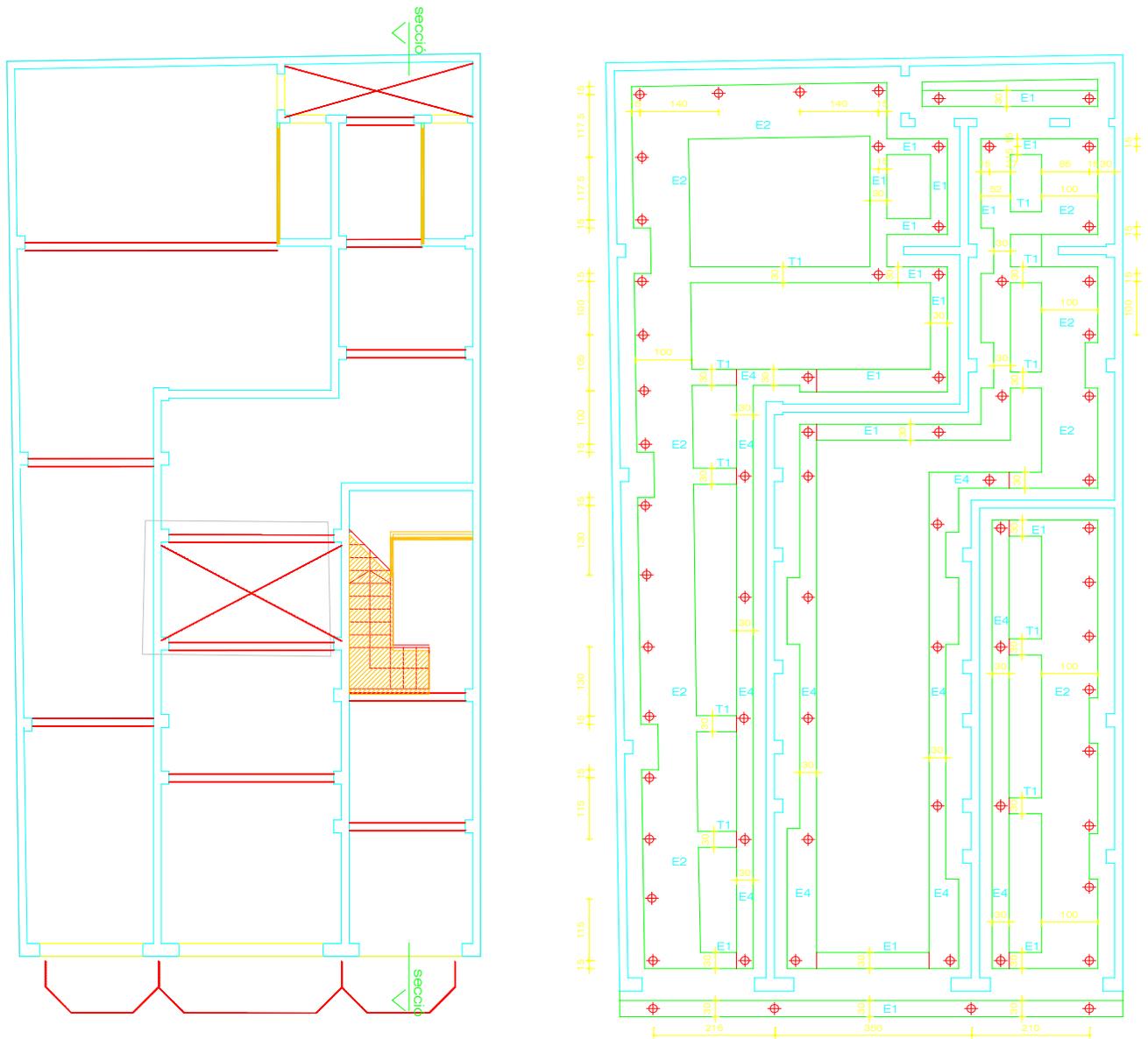


Fig.- 8.3. Ejemplo de planta de edificio, el cual va a ser sometido a una obra de recalce mediante micropilotaje, en la que se ven situados los micropilotes a realizar en la planta de cimentación. (Fuente Autor)

8.2-VISITA Y ANALISIS DEL EDIFICIO A RECALZAR ASÍ COMO DE LOS EDIFICIOS COLINDANTES

Otro aspecto importante a tener en cuenta antes del comienzo de las obras debe ser la visita al edificio afectado, para tomar nota de aspectos importantes del edificio y de las zonas que nos pueden condicionar en la manera de ejecutar las obras, tales como:

- Accesos al edificio.
- Situación de los terrenos y/o edificios colindantes.
- Dimensiones de la zona a trabajar.
- Acceso a la zona de trabajo (cimentación del edificio)
- Lugar de acopio de materiales necesarios para la ejecución, así como de los medios auxiliares.
- Comprobación del caudal de la acometida de agua,(en caso que fuera necesaria por el sistema de ejecución)
- Levantamiento de actas notariales sobre posibles defectos en edificios colindantes, para evitar posibles reclamaciones de los vecinos una vez que empiecen las obras.

8.3-ESTUDIO DE LA PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE LA OBRA CON EL CONSTRUCTOR EN CUMPLIMIENTO CON EL PLAN DE SEGURIDAD

Antes del comienzo de la obra habrá que reunirse con la persona responsable de la empresa que va a ejecutar el recalce para fijar los criterios de ejecución y para comprobar que se va a ejecutar de acuerdo con el plan de seguridad facilitado. En la obra habrá un libro de órdenes y de incidencias, y el contratista tendrá que cumplir una serie de requerimientos.

Libro de Órdenes

El libro de Órdenes se abrirá en la fecha de comprobación del replanteo y se cerrará en la recepción definitiva. Durante este tiempo estará a disposición de la Dirección de Obra y de

los representantes de la Propiedad que, cuando proceda, anotarán en este las órdenes, instrucciones y comunicaciones que estimen oportunas, autorizándolas con su firma.

El contratista estará también obligado a reflejar en este libro, para sí mismo o mediante su delegado de obra, cuantas órdenes o instrucciones reciba por escrito del director de Obra o del director de la ejecución de la obra., y a firmar, a los efectos procedentes el oportuno acuse de recibo, sin perjuicio de la necesidad de una posterior autorización de estas prescripciones por el director de obra o el director de la ejecución de la obra, con su firma, en el libro indicado.

Libro de incidencias

Se hará constar en el libro de incidencias todos aquellos hechos que considere oportunos el director de obra o el director de la ejecución de la obra, o el representante de la Propiedad, y con carácter diario, los siguientes:

- Las condiciones atmosféricas y la temperatura máxima y mínima ambiente.
- Relación de los trabajos realizados.
- Realización de los ensayos realizados con los resultados obtenidos.
- Cualquier circunstancia que pueda influir en la calidad y ritmo de la obra.

Trabajos no autorizados y trabajos defectuosos

Hasta que tenga la recepción definitiva, el contratista responderá civil y penalmente en su caso, de obra contratada y de las faltas que hubiese, sin que sea eximido ni le dé ningún derecho la circunstancia de que la Administración haya examinado o recorrido durante la construcción, las partes y unidades de obra o los materiales utilizados, ni que hayan incluido éstas y aquellas las mediciones y certificaciones parciales.

Si se advierten vicios o defectos en la construcción o se tienen razones fundadas para creer que existen vicios ocultos en la obra ejecutada, la dirección facultativa y la Propiedad, mediante su representante podrá optar siempre antes de la recepción definitiva, por alguna de las siguientes alternativas:

- a. Demolición y posterior reconstrucción de los micropilotes defectuosos.

- b. Reparación de la obra afectada hasta conseguir las características y calidades mínimas exigibles.
- c. Aplicación de un coeficiente de reducción en los precios de las unidades de obra que afectan.

Responsabilidades especiales del Contratista

Las obras a realizar tendrán que ejecutarse con el cuidado necesario para que los servicios existentes no sufran daños ni alteraciones. La recepción y/o indemnización para cualquier daño que se cause a estos servicios irá a cargo del Contratista.

8.4-REALIZACIÓN DE TRABAJOS PREVIOS A LA RELIZACIÓN DE LA OBRA

En la mayoría de los proyectos de recalce con micropilotaje es necesario realizar unas obras previas a la ejecución del mismo.

En la mayoría de los casos las dificultades se tienen en acceder a los lugares dónde se va a tener que realizar la perforación, siendo las mas frecuentes:

- ***Derribo de partes interiores:*** En la mayoría de los casos las dificultades se tienen en acceder a los lugares dónde se va a tener que realizar la perforación, para ello hay que realizar el derribo de partes interiores del edificio para poder lograr el acceso.



Fotos.- 8.2. Fotos de los derribos de partes interiores del edificio, necesarios en muchas ocasiones debido a la dificultad de acceso de la maquinaria a utilizar, para los trabajos de perforación. (Foto del Autor)

- **Estructuras provisionales:** En muchas ocasiones se tienen que crear estructuras provisionales, que permiten que se hagan ampliaciones de paso, así como aberturas especiales y derribo de escaleras. Todo ello necesario para que la maquinaria pueda acceder al lugar del trabajo.



Foto.- 8.3. Foto de las estructuras provisionales que hay que colocar para poder conseguir ampliaciones de paso. (Foto del Autor)



Foto.- 8.4. Foto de una estructura provisional, colocada para poder demoler una escalera, circunstancia habitual para poder lograr el acceso de la maquinaria necesaria para los trabajos de recalce. (Foto del Autor)



Foto.- 8.5. Foto del detalle de una estructura provisional necesaria para aberturas especiales. (Foto del Autor)



Foto.- 8.6. Foto de las dificultades que tiene la maquinaria para el acceso al lugar de trabajo, lo cual hace necesario la construcción de estas estructuras provisionales para poder abrir huecos en distintas partes del edificio (Foto del Autor)

- **Reforzamiento de zapatas:** La dificultad que nos suele acompañar cuando lo que se pretende es el aumentar la capacidad de carga de unas zapatas, sin entrar a analizar por qué, ya que viene desarrollado en el proyecto el motivo del mismo, es la localización exacta de las mismas y el descubrirlas para que las perforaciones se realicen en los lugares adecuados, dado que en los proyectos de recalce se han realizado solamente algunas catas de localización de las zapatas pero no se han quedado al descubierto la totalidad. Siendo por lo tanto necesario y una labor a realizar por el director de la obra, el comprobar que efectivamente la situación y ubicación de las perforaciones para el micropilotaje es el inicialmente proyectado y en caso contrario ponerlo en conocimiento del autor del proyecto para que lo tenga en cuenta y en su caso hacer las modificaciones necesarias en el proyecto con el fin de que la ejecución de la obra pueda cumplir el fin previsto.

En algunos casos a la hora de realizar este tipo de ejecución se ve la necesidad de, por motivos de seguridad, variar el apuntalamiento que pueda existir para facilitar el acceso de las máquinas a los lugares necesarios o bien que se considere que para garantizar una mayor seguridad durante la ejecución de dichas obras se estime necesario el afianzar la estructura existente o algún otro elemento de la edificación que pueda verse en peligro durante el transcurso de las mismas.

- **Recalce de muro:** En los recalces de muro además de tener en cuenta gran parte de lo expuesto en el apartado anterior se debe de analizar si existen problemas de perforación por ser muy frecuente que estas perforaciones tengan que hacerse con un cierto ángulo de inclinación para poder situarlas en el punto adecuado y que sea mayor su eficacia.
- **Afianzamiento de terreno:** En el caso de que tengamos que realizar obras de afianzamiento de terreno bien para la ejecución de una excavación cerca de edificaciones colindantes que puedan verse afectadas durante la ejecución de la misma, será necesario que sigan rigurosamente los controles que seguro vendrán reflejados en el proyecto consistentes en la toma testigos para comprobar que no hay movimientos en las edificaciones colindantes.

8.5-COLOCACI3N Y CONTROL DE TESTIGOS DE ASENTAMIENTO DEL EDIFICIO AFECTADO Y DE LOS COLINDANTES

Se deber3n colocar testigos en el edificio a recalzar as3 como en sus colindantes con el fin de controlar los posibles asentamientos que se pueden producir en los edificios debido a las obras de recalce. Estos testigos se colocaran y se controlaran tal y como se expone en el Cap3tulo 5.

8.6-RECEPCI3N Y CONTROL DE LAS M3QUINAS, MEDIOS AUXILIARES Y MATERIALES A UTILIZAR EN LA OBRA

Como hemos podido ver en los distintos apartados anteriores existe una gran variedad de sistemas y m3quinas a emplear en la ejecuci3n de obras con micropilotaje. Es importante la decisi3n de qu3 tipo de maquinas se deben emplear para que se pueda adaptar en lo posible a la ejecuci3n del proyecto.

En los casos en los que el trabajo se realiza en los s3tanos y no desde el exterior, la maquina de perforaci3n debe ser de moto hidr3ulico, para lo cual se tiene que prever la ubicaci3n, en el exterior del edificio, de generadores que le den suministro a la maquinaria.



Foto.- 8.7. Foto de la vista general de maquinaria y medios auxiliares necesarios para la realizaci3n de una obra de recalce mediante micropilotaje. (Foto del Autor)



Foto.- 8.8. Foto del almacenamiento de la armadura tubular de los micropilotes, en la que como se puede apreciar en la fotografía cada tipo de armadura se encuentra adujada perfectamente en lotes y con un identificador. *(Foto del Autor)*



Foto.- 8.9. En esta fotografía se puede observar como se encuentra almacenada, de forma paletizada para facilitar el transporte, la resina epoxi, un material muy utilizado en las obras de recalces. *(Foto del Autor)*

En muchos casos para una misma obra es necesario utilizar diferentes tipos de maquinaria al no ser posible utilizar la misma para trabajos desde el exterior del edificio donde no suele

existir unas limitaciones de espacio ni de altura a las que podrían ser necesarias para la utilización dentro de una edificación con limitaciones de acceso, altura, etc.

Para poder controlar el tipo de maquinaria que se va a utilizar en los trabajos, debemos exigir a la empresa contratada una ficha técnica de las maquinas, del tipo que se adjunta en el anexo. En la que refleje:

- El tipo de motor
- Las dimensiones
- Potencia
- Peso
- Presión sobre el terreno, etc.

Una vez comprobado que la maquinaria con la que se pretende realizar la ejecución de la obra es la adecuada se procederá a controlar que su colocación y desplazamiento para las distintas perforaciones es posible y que reúnen las condiciones mínimas de seguridad.

8.7-EJECUCIÓN DE LA OBRA:

8.7.1-Descubrimiento de los elementos a recalzar (zapatas, muros, terrenos...)

Uno de los primeros trabajos a realizar en el momento del comienzo de la obra es el de descubrir la cimentación del edificio que va a tener que ser recalzada.

Para este trabajo va a ser necesario el utilizar medios mecánicos, siempre y cuando la accesibilidad de la zona lo permita.



Foto.- 8.10.Fotografía de una mini-excavadora trabajando en el descubrimiento de la cimentación. (Foto del Autor)



Foto.- 8.11.En esta fotografía se puede observar como en muchas ocasiones se tienen que realizar las excavaciones de forma manual debido a la imposibilidad de acceso de algún tipo de maquinaria de excavación. *(Foto del Autor)*

8.7.2-Replanteo de la situación de perforación de los micropilotes.

Se deberá de realizar un replanteo preciso, para marcar de forma definitiva el sitio exacto de ejecución del micropilote.

Se intentarán utilizar métodos de replanteo de tal forma que puedan permanecer inalterables durante la ejecución de la obra.

En recalces en el que se va a realizar el micropilote de forma directa, a través de la cimentación antigua. La perforación de ese cimiento es recomendable hacerlo mediante maquinaria del tipo Hilti con corona de diamante, ya que este tipo de maquina permite una mejor precisión en la perforación, pudiendo ser lo mas exacto posibles en el ángulo como en la situación. Sirviendo esta perforación inicial de guía para realización del micropilote.

Para el replanteo de los micropilotes es conveniente el hacerse de una plantilla que te ayude a marcar el lugar de la perforación siempre con referencia al pilar o muro, según el caso.



Fotos.- 8.12 .En esta dos fotografías se ve como se está realizando la perforación de la cimentación existente mediante una máquina de perforación de pequeñas dimensiones, lo cual es muy recomendable debido a una mayor precisión en la perforación inicial. (Foto del Autor)



Foto.- 8.13.En esta otra fotografía se observa la parte de cimentación ya perforada, y como el taladro que queda sirve de de una perfecta guía para iniciar la perforación de terreno. (Foto del Autor)

8.7.3- Acceso de la maquinaria, materiales y demás elementos necesarios para la ejecución.

Una de los aspectos importantes que hay que tener en cuenta para la realización de este tipo de trabajo es el acceso de la máquina de micropilotaje al lugar donde se va a realizar la obra. Este acceso suele ser complicado debido a que, aunque la máquina tiene dimensiones reducidas, el lugar de trabajo es en la cimentación, y para llegar a ella se hace a través de sótanos, plantas bajas, etc., y los accesos no siempre son fáciles.



Foto.- 8.14.Fotografía de detalle de cómo se introduce la maquinaria a través de un hueco abierto en fachada, así como de los materiales necesarios. *(Foto del Autor)*

Otra cosa a tener en cuenta a parte de la maquinaria, son todos los medios auxiliares necesarios para realizar el recalce. Empezando por la planta de fabricación de lechada y de la ubicación de los generadores eléctricos, necesarios para el funcionamiento de la maquinaria, ya que todo esto necesita un gran espacio, que debe estar en el exterior de la obra y con buen acceso.



Foto.- 8.15 Fotografía de los generadores eléctricos situados en el exterior de la obra necesarios para dar servicio a la maquinaria. Así como un depósito de combustible para abastecer los generadores. *(Foto del Autor)*

**Mezcladora****Dosificador de cemento****Silo de cemento****Deposito de agua****Bomba de inyección****Panel de control****Foto.- 8.16 Planta de fabricación de lechada. (Foto del Autor)****Formada por:**

- **Depósito de agua-** Necesario para aportar el agua necesaria para la dosificación de la lechada.
- **Silo de cemento-** El silo almacena el cemento necesario para la lechada , y debe estar en un sitio de buen acceso para poder ser recargado.
- **Dosificador de cemento-** Se trata de un recipiente al que le llega el cemento a través de un tornillo sinfín. Este recipiente está apoyado sobre unos sensores de peso, que cuando llega al peso establecido para una determinada dosificación deja de recibir cemento.

- **Mezcladora-** *En la mezcladora se recibe el cemento anteriormente dosificado y el volumen de agua establecida para una determinada dosificación, y allí se produce la mezcla. Todas estas plantas disponen de al menos dos mezcladoras para poder así trabajar de forma continua sin tener que esperar entre amasado y amasado.*
- **Panel de control-** *Dispone de un ordenador que es el que controla tanto el agua que manda a la mezcladora, como el peso del cemento necesario. Desde este panel de control también se controla la bomba de inyección, por lo tanto es desde donde se tiene la perfecta comunicación con los que están trabajando en el interior de la obra.*
- **Bomba de inyección-** *Es la encargada de enviar la lechada con determinada presión al interior de los micropilotes. Siempre controlada a través del panel de control.*

También se preverá:

- Una acometida de agua (en caso que fuera necesario)
- Contenedores para recoger y suministrar agua (en caso que fuera necesario)
- Bomba de achique
- Zahorra para obtener una plataforma de trabajo óptima y para poder filtrar el agua en caso que se utilizara en el proceso de ejecución.

8.7.4-Realización de los micropilotes.

Una vez que se tiene instalada la maquinaria y los medios auxiliares, necesarios para la ejecución, en una plataforma de trabajo competente se procederá a la realización de los micropilotes tal y como se expone en el Capítulo 6.

Dependiendo del sistema a utilizar en la realización de los micropilotes, habrá pequeños matices a la hora de su ejecución, pero los pasos principales que siguen todos los sistemas son los siguientes:

- Perforación
- Introducción de la armadura
- Inyección

Principales aspectos a controlar durante la perforación:

-Las perforaciones deberán ejecutarse de conformidad con lo especificado en el proyecto, y en todo caso, según lo indicado en el protocolo de ejecución.

-Se deberán prever con antelación las técnicas necesarias para contrarrestar la presión del agua y los posibles desmoronamientos de los taladros, tanto durante la propia perforación como durante la colocación de la armadura y la realización de la inyección.

En concreto, se adoptarán precauciones especiales al atravesar niveles artesianos para evitar la salida de agua con arrastres de terreno. Se podrán emplear varios sistemas: inyección de la zona, hasta conseguir taponar la afluencia de agua, y reperforación posterior; entubación perdida desde la superficie hasta la cota inferior de artesianismo; elevación de la plataforma de trabajo para contrarrestar la presión; sistema de cierre en la boca de taladro, etc.

-Al tratarse de micropilotes utilizados como recalce de estructuras preexistentes se deberá proceder, como mínimo durante la fase de perforación, al control de los movimientos de la propia estructura a recalzar y de aquellas otras, próximas a la zona de trabajo, que pudieran verse afectadas.

-Salvo especificación expresa en contra, el proyecto deberá incluir un plan de auscultación que contemple dichos aspectos, así como aquellos otros que se consideren de interés. El plan deberá contemplar la medición de asientos o levantamientos por un periodo de tiempo mínimo a definir en el mismo.

-El proyecto deberá incluir una estimación de los movimientos esperables en las estructuras aledañas debidos a la ejecución de los micropilotes. El control de movimientos se realizará mediante nivelación de precisión, con referencias en puntos prefijados de las estructuras y bases fuera de la zona susceptible de afección.

-En el proyecto, y en todo caso en el protocolo de ejecución, deberán definirse los apuntalamientos, apeos o cualquier otra medida provisional necesaria tanto en las propias estructuras a recalzar, como en aquellas otras más próximas que pudieran verse afectadas.

-En el proyecto, y en todo caso en el protocolo de ejecución, deberá definirse el sistema de perforación (preferiblemente con aire), ya que cada sistema está indicado para un tipo de terreno, y el no utilizar el correcto puede ocasionar graves problemas en el terreno. La secuencia constructiva a seguir en la ejecución de los micropilotes, especificando de modo expreso el orden de ejecución y los tiempos de espera a observar.

-Comprobar que el lugar donde se está realizando la perforación corresponde con el lugar anteriormente replanteado.

-Se deberá controlar que no se perforan dos micropilotes adyacentes de forma consecutiva, así en zapatas corridas o vigas de arriostramiento, se dejarán al menos dos micropilotes intermedios mientras ello sea posible y en zapatas aisladas deberá transcurrir un mínimo de veinticuatro horas (24 h) entre la ejecución de cada dos micropilotes consecutivos en el mismo cimiento.

-Profundidad de perforación. Se trata de uno de los principales aspectos a controlar, ya que se debe asegurar, que se llega al estrato resistente a la hora de la perforación. Para ello se tiene que tener en cuenta la profundidad definida para cada micropilote en el proyecto, y realizar la perforación utilizando el número de tramos de tubos de perforación necesarios para llegar a esa cota. Con lo cual el control se debe basar en controlar que se utilizan todos los tramos necesarios para llegar a la profundidad. Pero este control debe ser mucho más activo, ya que debemos controlar que con esa profundidad, definida en proyecto, se llega, y se empotra en el estrato resistente. Ya que puede haber un error entre el estudio geotécnico del terreno, y lo que de verdad nos encontramos a la hora de la perforación.



Fotos.- 8.17. En la fotografía de la izquierda se ve como la máquina de perforación está trabajando, y a la derecha se encuentran dos operarios sirviendo de tramos de varilla de perforación para lograr la profundidad deseada. *(Foto del Autor)*

Principales aspectos a controlar durante la introducción de la armadura:

-Comprobar que los tramos de armadura se introducen en el orden correcto y el número de tramos establecido para llegar a la profundidad deseada. El orden de introducción de la armadura es importante, ya que si se trata de un sistema de Inyección Repetitiva o Repetitiva Selectiva, los tramos de armadura tubular que disponen de los orificios por los que se inyecta deben de quedar a la altura del estrato en el que se quiere inyectar.

-Controlar que se emplea la unión entre tramos de armadura definida en proyecto.

- Para uniones rosca. (Son el tipo de unión que se debe exigir para todo tipo de sistemas ya que son las mas fáciles de ejecutar y las que más fiabilidad nos dan de que existe una continuidad en el micropilote). En este tipo de unión lo mas importante a controlar, es que se enrosca hasta el final utilizando algún tipo de llave, para que cuando el micropilote entre en carga a compresión, no trabaje la rosca.



Foto.- 8.18. En la fotografía se encuentran tres operarios enroscando los tramos de armadura tubular. (Foto del Autor)

- Para uniones soldadas. (Este tipo de sistema se debe evitar ya que tiene demasiados inconvenientes, tales como: hace mucho más lenta la ejecución. No nos asegura la buena unión entre tramos, ya que este tipo de armadura contiene una un alto grado de carbono, lo que hace que no sea fácil de soldar. Se produce un gran peligro en la seguridad del trabajador, ya que tienen que realizar la soldadura en un terreno totalmente encharcado con el peligro que eso conlleva al estar soldando). El aspecto principal a controlar en este tipo de unión son el estado de la soldadura, utilizando algún sistema sencillo como el de los líquidos penetrantes.



Foto.- 8.19. En la fotografía se observa un operario realizando la soldadura de unión de tramos de armadura tubular, en la que se puede apreciar el peligro que conlleva debido a las condiciones en que se realiza. (Foto del Autor)

-Otra de las cosas a controlar a la hora de introducir la armadura es que no se escape ningún tramo de armadura dentro de la perforación sin unir. Aspecto que puede pasar debido a los sistemas de sujeción que se utilizan en obra. En caso de que ocurriera esto (en uniones roscadas), se intentaría enroscar el tramo desde arriba, y si no se puede garantizar la buena unión, es aconsejable repetir el micropilote.



Foto.- 8.20. En la fotografía se ve el método de sujeción que utilizan para evitar que la armadura se cuele dentro de la perforación mientras esperan que el otro tramo sea enroscado. (Foto del Autor)

Principales aspectos a controlar durante la inyección:

Dependiendo del método de inyección que se vaya a utilizar (Inyección Global Única, Inyección Repetitiva ó Repetitiva Selectiva) habrá diferentes aspectos a controlar.

-En la mas sencilla, que es la inyección global única (IU), lo mas importante a controlar es que la inyección se realice desde el fondo del micropilote, para que la lechada vaya ascendiendo expulsando todos los detritos y agua que puedan quedar en el interior de la perforación. Otra de las cosas a controlar, es que el volumen de lechada utilizado para rellenar ese micropilote corresponde con el especificado en proyecto.

-En los otros sistemas, uno de los aspectos importantes a controlar es que la primera inyección se realice aproximadamente, a las 12 horas del relleno de lechada de la vaina exterior del micropilote, ya que la lechada, pasadas estas 12 horas se encuentra en un fraguado ideal para que se pueda realizar la inyección.

-En el momento de la inyección se debe controlar la presión de ésta, al igual que el volumen de lechada, ya que cualquiera de estos dos parámetros son indicadores de que la inyección ha sido completada. Para controlar la presión de inyección se debe realizar mediante un manómetro, lo mas cerca que se pueda del punto donde se está inyectando, para evitar pérdidas de presión por causa de los metros de tubería. El oficial que controla la presión mediante el manómetro, tiene que estar en perfecta comunicación con el encargado de la planta de fabricación, que inyecta la lechada, que normalmente está situada en el exterior del edificio. Para esta comunicación hay que emplear algún tipo de comunicación que no tenga problemas de interferencias o cobertura, ya que en la mayoría de casos se trabaja en sótanos. Un sistema utilizado que no tiene este tipo de problemas, son los genófonos.



Fotos.- 8.21. En esta fotografía se ve el manómetro que sirve para controlar la presión de inyección, así como el oficial en perfecta comunicación, a través del genófono, con el operario del panel de control de la planta de fabricación de lechada. *(Foto del Autor)*



Foto.- 8.21. En la fotografía superior se encuentra un operario conectando la manguera de inyección en el micropilote. *(Foto del Autor)*

8.7.5-Control de los materiales a emplear (cemento, ferralla, áridos, agua....)

Todos los materiales que se utilicen en las obras tendrán que cumplir las condiciones que se establecen en el presente documento o al Pliego de Prescripciones Técnicas del Proyecto y

ser aprobadas por el Director de Obra. Por eso, todos los materiales que se pongan para su utilización tendrán que ser examinados, ensayados antes de su aceptación.

Se podrá considerar defectuosa la obra o parte de ella que haya estado realizada con materiales no ensayados o no probados previamente por la Dirección de Obra.

Los materiales se almacenarán de tal manera que resulte asegurada la conservación de sus características y su aptitud de utilización.

Todo el material que no reúna las condiciones auxiliares o haya estado rechazado será retirado de la obra inmediatamente, salvo autorización expresa y por escrito de la Dirección de Obra.

Ensayos

Los tipos y cantidad de ensayos a realizar durante la ejecución de las obras tanto en la recepción de materiales, como en el control de fabricación y puesta en obra, será definido por el Director de Obra. Tal y como se expone en el capítulo 7 de este trabajo.

Como en el proyecto vendrá reflejado el tipo de hormigón a utilizar en esta obra es necesario por parte del director de la misma comprobar minuciosamente que dicho hormigón reúna las condiciones exigidas.

En caso muy excepcionales en el que el hormigón sea suministrado por una planta de hormigonado, en cuyo caso tendremos que obtener las certificaciones de homologación de dicha planta así como las fichas completas de elaboración del hormigón que pretendemos nos sea suministrado a parte de que en cada uno de los suministros los datos de fecha de elaboración, hora de salida de la planta, hora de llegada a la obra y tiempo máximo que ha durado la última ejecución, así como de escoger las probetas, que en cada caso sea necesario, para su posterior análisis en un laboratorio homologado.

En el caso mas habitual en el que el hormigón o lechada, es elaborado en la propia zona de la obra, mediante una planta, como hemos visto en los apartados anteriores, será necesario realizar los siguientes controles:

1. Tipo de cemento a emplear, empresa suministradora y partida de elaboración.

2. Ficha técnica del cemento homologada por un laboratorio autorizado.
3. Control del árido a emplear(en caso de que sea necesario), comprobando su calibre y procedencia.
4. Control del agua a emplear, en caso de no proceder de la red general, incluso llegando a analizar la misma si se sospecha que dicha agua no reúne las condiciones mínimas para poder ser empleada.
5. Control minucioso de la dosificación en la mezcladora así como las pruebas de viscosidad de la mezcla y las probetas que se consideren necesarias para ser analizadas por el laboratorio de control de calidad. Para un control mucho mas dinámico en obra, se deben hacer controles periódicos, establecidos previamente, de la densidad de la lechada ya que según la dosificación con la que se trabaje se sabe la densidad que tiene que tener la lechada.

Ejemplo: Para un dosificación 2:1 (muy habitual en la fabricación de micropilotaje), le corresponde una densidad aproximada de 1,85.

Con lo cual existen unas balanzas, que rellenando en una de sus partes el recipiente con la lechada, nos marca exactamente la densidad que tiene ese líquido. Por tanto al ser tan sencillo comprobar en obra la densidad de la lechada, se pueden hacer controles de casi todas las amasadas.

8.7.6-Unión de los micropilotes con la cimentación.

Una vez terminados de ejecutar los micropilotes se procederá a la unión de éstos con la cimentación antigua.

Tal y como hemos visto en Capítulos anteriores existen dos métodos principales de conexión con la cimentación antigua, de forma directa y de forma indirecta y para cada uno de ellos tendremos diferentes aspectos a controlar.

En recalces directos:

- A la hora de descabezado del micropilote se tendrá que realizar de forma manual y cuidadosa para evitar que el movimiento de la armadura fisure el hormigón del micropilote.

-Se intentará utilizar algún tipo de conectores para una mejor adherencia del micropilote con el cimientto antiguo. Los conectores que vayan soldados al la armadura se intentará que esas

soldaduras vengan hechas de taller, y si no es posible y se tienen que realizar en obra se tienen que controlar mediante líquidos penetrantes.

-En la zona de contacto con la cimentación se debe rellenar mediante un mortero que no tenga retracción para asegurar un perfecto contacto, ya que esta es la zona de transmisión de la carga de la estructura al micropilote.

-En caso de que esta superficie de contacto no sea suficiente para transmitir las cargas, se puede realizar un tipo de enlace entre el micropilote y la cimentación. Este enlace como indica en la figura , se realiza por la parte superior de la cimentación y aumenta la transmisión de cargas al micropilote.

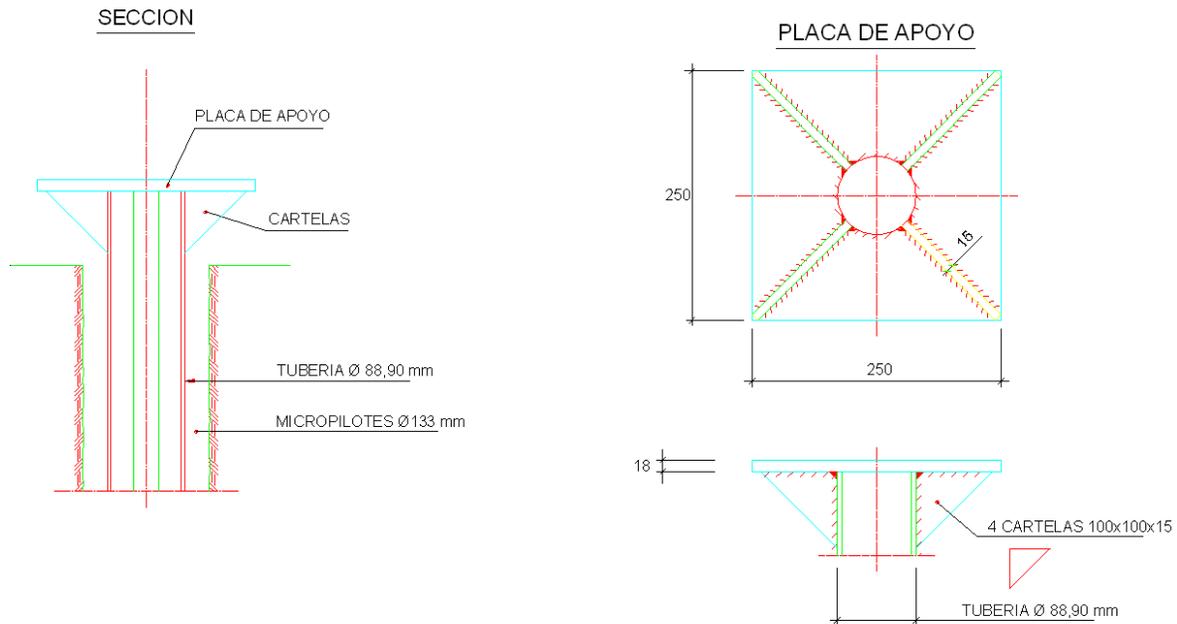


Fig.- 8.4. Detalle constructivo de una de la soluciones a adoptar para mejorar las uniones entre la cimentación antigua y el micropilote en un recalce directo. (Fuente Autor)

En recalces indirectos:

Se trata de enlaces un poco más complicados de ejecutar, y se utilizan en los casos en los que la superficie de contacto con la cimentación no es suficiente y cuando se trata de una cimentación muy antigua en la cual no se puede perforar. Debido a que el micropilote no perfora directamente la cimentación, y se ejecuta a continuación de esta existen diversos

métodos para transmitir los esfuerzos a los micropilotes, tal y como vimos en el Capítulo 6. Lo que se caracteriza de todas estas uniones es que necesitan de un armado, lo que implica un posterior encofrado y hormigonado. Teniéndose que realizar un control de todas estas fases.

Armado:

Durante el montaje de la armadura se deberá controlar que el armado corresponde con lo especificado en proyecto, comprobando:

- Hormigón de limpieza
- Separadores
- Diámetro de barras y colocación según detalles constructivos
- Distancia entre estribos
- Solapes
- Longitud de anclajes
- Radios de curvatura
- Colocación de barras Gewi (en caso de de fuera necesario)



Fotos.- 8.22. Fotografías del armado necesario para unir la cimentación con los micropilotes cuando se trata de recalces de forma indirecta. Y en la que se puede ver a dos operarios realizando dicho armado. (Foto del Autor)



Foto.- 8.23. Fotografía de una barra tipo Gewi muy utilizada en los recalces de forma indirecta.

(Foto del Autor)

Cuando se utiliza un sistema de unión mediante pasadores con barras tipo Gewi, habrá que controlar la presión de las tuercas utilizando una llave dinamométrica. Y en los casos en que esas barras, vayan ancladas al cimiento antiguo mediante algún tipo de resina epoxi, se tendrán que realizar pruebas de anclaje de esas barras según estime la dirección de la obra.

Encofrado

Durante el encofrado se tendrá que controlar que se ejecuta manteniendo las distancias de recubrimiento y que se trata de un encofrado lo suficientemente fuerte para que aguante la presión del hormigón a la hora del hormigonado.



Fotos.- 8.24. Fotografías del encofrado necesario para formar los enlaces entre los micropilotes y la cimentación preexistente. (Foto del Autor)

Hormigonado

En la fase de hormigonado se deberán realizar los controles establecidos, tal y como se expone en el Capítulo 7 de este trabajo. Y se controlará que el hormigón que se sirve,

corresponde con el establecido en proyecto comprobando el albarán de entrega. Durante el hormigonado será importante el observar que se produce un buen vibrado del hormigón y que se rellena hasta la cota marcada en el encofrado para conservar así los recubrimientos mínimos de la armadura, otra de las cosas a controlar es que no se añada agua durante el hormigonado ya que esto hace que se varíe la dosificación establecida.

Otro de los aspectos mas importantes que hay que prever, es la forma de hormigonar, ya que en la mayoría de las ocasiones el acceso es muy complicado, teniendo que utilizar, cuando se pueda, bombas de hormigonado e incluso tener que servirse de medios auxiliares, tipo dúmper.



Fotos.- 8.25.Fotografías de la fase de hormigonado mediante una bomba, en la cual se puede ver las dificultades que se encuentran para poder acceder a determinados lugares.

(Foto del Autor)

8.8-LIMPIEZA Y RESTAURACIÓN DE LA ZONA AFECTADA EN LA OBRA.

Una vez terminados todos los trabajos de recalce se procederá a la retirada de maquinaria y restauración de todas las zonas dañadas en el proceso de ejecución.

En estos trabajos habrá que hacer reposición de escaleras, tapar huecos abiertos para el acceso de la maquinaria, colocar solados rotos e incluso la de realizar algunos muros auxiliares de contención de otros en mal estado.



Fotos.- 8.26.Fotografías de la reposición de escaleras que tuvieron que ser demolidas en el comienzo de las obras para lograr el acceso de la maquinaria *(Foto del Autor)*



Foto.- 8.27.Fotografía de uno de los huecos abiertos en fachada que tienen que ser tapados. *(Foto del Autor)*



Foto.- 8.28. Fotografía un muro auxiliar de contención. Trabajo que corresponde con los muchos que hay que realizar dentro de la restauración de la zona afectada. *(Foto del Autor)*

8.9-SEGUIMIENTO DE LOS TESTIGOS INSTALADOS, EN LOS MESES POSTERIORES A LA TERMINACIÓN DE LA OBRA.

Los testigos instalados en el comienzo de la obra para el control de posibles movimientos del edificio, se mantendrán durante los meses posteriores a la terminación de la obra, para poder controlar la evolución del edificio después de la realización del recalce.

CRITERIOS DE ORDEN ECONÓMICO



9

9 CRITERIOS DE ORDEN ECONÓMICO

Antes del inicio de los trabajos deberán estar definidos los siguientes aspectos:

- a) Número, longitud, posición e inclinación de los micropilotes
- b) Sección transversal del micropilote: diámetro nominal, resistencia característica de la lechada o mortero, armadura tubular (diámetro exterior, espesor y calidad del acero) y armadura corrugada en su caso (número de barras, diámetro y calidad del acero).
- c) Tipo de perforación: tanto en el terreno como en el cimiento antiguo (rotación o retoperación en seco, con agua o aire, entubación recuperable o no, entubación perdida, diámetros, etc.).
- d) Tipo de inyección: única global (IU), repetitiva (IR) o repetitiva y selectiva (IRS), y los parámetros de la misma (volumen teórico de inyección, volumen máximo, presión de inyección, número de reinyecciones, etc.).

Los micropilotes se abonarán teniendo en cuenta las características anteriores.

Se incluye a título meramente orientativo, un posible cuadro de precios (*Según IFC Cimentaciones Espaciales S.A.*):

- Metro de micropilote tipo X (según la clasificación del apartado 3.1 de este trabajo), incluyendo el emplazamiento, la perforación en cualquier clase de terreno, la colocación de la armadura y sus refuerzos, y la inyección hasta alcanzar el volumen máximo previsto en la tabla 6.2 .
- Kilogramo de acero de armadura del micropilote (según tipo de armadura).
- Suplemento por metro de perforación de cimiento antiguo (indicándose su naturaleza).

- Suplemento por tonelada de cemento, en mortero o lechada, en exceso de inyección sobre el volumen máximo previsto en la tabla 6.2
- Partida alzada a justificar para pruebas de carga

Tabla 6.2. - Volumen máximo en función del tipo de inyección

(Fuente tabla Jornadas técnicas SEMSIG-AETESS)

Tipo de inyección	V_{max}
<i>Previa , IU</i>	$1,5 V_t$
<i>IR</i>	$2,0 V_t$
<i>IRS</i>	$3,0 V_t$

donde:

V_{max} = Volumen máximo de inyección.

V_t = Volumen teórico de inyección.

Se consideran incluidos en estos precios los transportes, emplazamientos de maquinaria, cualquier tipo de gastos indirectos, los derivados de los controles de ejecución e inspección hasta la recepción de las Obras.

Orientaciones para la formación de precios (relativos al año 2006)

Este apéndice pretende establecer una serie de indicaciones meramente orientativas, acerca de la posible formación de precios (relativos a enero del año 2006).

Las referencias son relativas a posibles precios de ejecución material sin IVA

Precio nº 1. Metro de micropilote tipo X (según la clasificación del apartado 3.11, incluyendo el emplazamiento, la perforación en cualquier clase de terreno, la

colocación de la armadura y sus refuerzos, y la inyección hasta alcanzar el volumen máximo previsto en la tabla 6.2 de este Trabajo.

Según diámetro nominal:

Precio base orientativo:

- Ø 120 mm	55- 65 €/m
- Ø 150 mm	60- 75 €/m
- Ø 180 mm	70- 85 €/m
- Ø 200 mm	80- 95 €/m
- Ø 225 mm	90- 105 €/m

Factores de corrección F:

$$F1 = 0,80 - 1,30$$

- Por volumen de obra:

$$F1 = 1,00 \text{ para } L_{TOT} \text{ micropilotes} = 2.000 \text{ m)}$$

- Por terreno abrasivo:

$$F2 = 1,00-1,30$$

- Por perforación de fabricas antiguas, hormigones, F3 = 1,20 - 2,00

etc.:

- Por gálibo: g	a) $4,00 \text{ m} \leq g \leq 8 \text{ m}$:	F4(a)=1,10
	b) $2,50 \text{ m} \leq g \leq 4 \text{ m}$:	F4(b)=1,25
	c) $g < 2,50 \text{ m}$:	F4(c)=1,50

- Por inyecciones repetitivas (IR): F5 = 1,25

- Por inyecciones repetitivas selectivas (IRS): F6 = 1,30

- Por longitud unitaria mayor de 30 m: F7 = 1,10

- Por ejecución en disposición horizontal o en F8 = 1,10

contrapendiente:

Precio nº 2 Kilogramo de acero de armadura de micropilote (según tipo de armadura):

Precio base orientativo:

- Armadura tubutar:	1,23 €/kg
- Barra corrugada ($f_{yk} < 600 \text{ MPa}$) :	0,68 €/kg
- Barra corrugada ($f_{yk} \geq 600 \text{ MPa}$) :	1,12 €/kg

Factores de corrección R (por gálibo):

- Por longitud de micropilote $2 \text{ m} \leq L < 4 \text{ m}$: $R1 = 1,10$
- Por longitudes de micropilotes $L < 2 \text{ m}$: $R2 = 1,25$

Precio nº 3. Suplemento por tonelada de cemento, en mortero o techada, en exceso de inyección sobre el volumen máximo previsto en la tabla 6.2 de este proyecto.

- 3 veces el valor del cemento, deducido del descompuesto del primeros de los precios de esta relación

.

- Notas:
- La aplicación simultánea de varios factores de corrección deberá conllevar una reducción, en tal caso deben emplearse para los mismos, los valores medios o inferiores dentro de cada rango propuesto.
 - Los elementos de protección especiales tales como encamisados perdidos, o tratamientos especiales a los morteros o armaduras no se han considerado, debiendo ser incluidos en cada caso.
 - Los elementos de unión, tanto en dispositivos metálicos como con morteros especiales, deberán estudiarse y valorarse unitariamente.

SEGURIDAD



10

- SEGURIDAD EN LA EXCAVACIÓN PARA DESCUBRIR LA CIMENTACIÓN ANTIGUA
- SEGURIDAD EN EL ACOPIO Y TRANSLADO DE LOS MATERIALES
- SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN DE LOS MICROPILOTES
- SEGURIDAD DE LA MAQUINARIA UTILIZADA
- SEGURIDAD DE MEDIOS AUXILIARES MÁS COMUNES USADOS EN LA EJECUCIÓN DE RECALCES DE CIMENTACIONES MEDIANTE MICROPILOTAJE
- CONDICIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA
- CONDICIONES TÉCNICAS DE LA MAQUINARIA
- SERVICIOS DE HIGIENE Y BIENESTAR
- EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)
- SISTEMAS DE PROTECCIÓN COLECTIVA (SPC)

10. SEGURIDAD

El sector de la construcción es uno de los sectores laborales donde más accidentes de trabajo se producen, por ello éste es un capítulo muy a tener a cuenta para el adecuado desarrollo de las tareas a realizar en obra.

Las personas que intervienen en la ejecución de recalces mediante micropilotajes deben conocer los riesgos de ejecución y el método correcto y más seguro de realizarlo, dentro de la Ley 31/95 de Prevención de Riesgos Laborales y al R.D 1627/1997 que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud, en las obras de construcción.

En la actualidad existen una mayor demanda del derecho a estar informado, una mayor calidad de la asistencia, mejores tomas de decisiones y nuevos sistemas para controlar los riesgos para la salud y el bienestar de las personas en el trabajo.

En este apartado se estudian los posibles riesgos que existen en la ejecución de recalces de cimentaciones mediante micropilotaje y se proponen las soluciones tanto personales como colectivas para proteger a los operarios de ellos.

10.1.SEGURIDAD EN LA EXCAVACIÓN PARA DESCUBRIR LA CIMENTACIÓN ANTIGUA

10.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

En la realización de la excavación para descubrir la cimentación antigua, se intentará realizar la mayor parte del trabajo mediante medios mecánicos, aunque inevitablemente habrá partes del trabajo que se tendrá que realizar manualmente. Para la realización de estos trabajos, la maquinaria que se usa normalmente es una mini-retroexcavadora debido a las dificultades de acceso que se presenta normalmente en este tipo de trabajo, y un dúmper para retirar la tierra que sobre una vez realizada la obra.

10.1.2. RIESGOS MÁS FRECUENTES

- Desplome de tierras.

- Caída de personas, vehículos, maquinaria u objetos desde el borde de la coronación.
- Caída de personas al mismo nivel.
- Caída de personas a distinto nivel.
- Generación de polvo por la maquinaria.
- Ruido por la maquinaria.
- Hundimientos y deslizamientos de maquinaria.

10.1.3. MEDIDAS PREVENTIVAS

- Señalización de la zona de trabajo.
- Las maniobras de maquinaria serán dirigidas por personas diferentes al conductor.
- Siempre que la máquina esté trabajando, tendrá los gatos apoyados en el terreno.
- Prohibición de estancia de personal en la proximidad de las máquinas durante el trabajo de éstas (5,00 metros).
- Aviso de salida de maquinaria a la vía pública por operario diferente al conductor.
- Correcta disposición de la carga de tierras.
- Las máquinas no se utilizarán en ningún caso como transporte de personal.
- No acopiar materiales en los bordes de las excavaciones ni en zonas de tránsito.
- Señalización del tráfico de forma sencilla y ordenada.

10.2. SEGURIDAD EN EL ACOPIO Y TRANSLADO DE LOS MATERIALES

10.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJO

El trabajo consiste en el acopio de los materiales que se van a utilizar en la ejecución de la obra. Los materiales principales a utilizar van a ser armaduras de hierro, tubos de acero y sacos cemento.

10.2.2. RIESGOS MÁS FRECUENTES

- Heridas causadas por las armaduras.
- Caída de la ferralla y tubo de acero desde altura.

- Vibraciones.
- Sobreesfuerzos.
- Caída de objetos desde la maquinaria.
- Atropellos causados por la maquinaria.

10.2.3. MEDIDAS PREVENTIVAS

- La recepción y acopio de las “armaduras” y/o tubos de acero se efectuará en lugares determinados y señalizados.
- El terreno habrá sido preparado para recibir el transporte de alto tonelaje.
- La descarga de las armaduras, se efectuará izándolas de dos puntos distantes y mediante algún medio mecánico que haga de grúa ya que normalmente no se dispondrá de ella.
- El acopio, se realizará sobre una superficie horizontal en los que habrá topes, delimitando el acopio, con la finalidad de evitar que rueden.
- Montaje y armado del acero a pie de obra por equipo de ferrallas especializado.
- Realización del trabajo por personal especializado.
- Las armaduras o tubos, se dirigirán mediante sogas atadas al extremo libre, y nunca con las manos.
- Durante el izado del hierro, estará prohibida la permanencia del personal, en el radio de acción de la máquina.
- Mantenimiento en el mejor estado posible de limpieza de la zona de trabajo, habilitando y señalizando para el personal caminos de acceso a cada tajo.
- Perfecta delimitación de la zona de trabajo de la maquinaria.
- Organización del tráfico y señalización.

10.3. SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN DE LOS MICROPILOTES

10.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

La ejecución de un micropilote comprende la realización de las siguientes operaciones:

- Perforación del taladro del micropilote.

- Instalación de la armadura.
- Inyección del micropilote.
- Conexión con la estructura

10.3.2. RIESGOS MÁS FRECUENTES

- Caída de personas al mismo nivel.
- Golpes con objetos y herramientas manuales.
- Cortes con armadura en el proceso de montaje.
- Partículas en los ojos.
- Los derivados de los trabajos realizados en ambientes donde hay mucho polvo.
- Sobreesfuerzos.
- Los derivados del uso de medios auxiliares.
- Desprendimientos por mal apilado de materiales en los acopios.
- Golpes por caída o giro descontrolado de las armaduras y/o tubos de acero suspendidos, debido a fallos de atado para su elevación.
- Contacto con materiales agresivos, como la lechada de cemento, utilizada en la inyección.
- Contacto eléctrico al utilizar maquinaria y encontrarse, normalmente, en un ambiente húmedo.

10.3.3. MEDIDAS PREVENTIVAS

- Hay que mantener un cierto nivel de limpieza y orden en las zonas de trabajo.
- Se habilitará en obra un espacio dedicado al acopio clasificado de los elementos estructurales, excepto los de mayor dimensión que serán acopiados bajo la posición de colocación definitiva.
- Se prohíbe la permanencia de operarios en las zonas de batido de cargas durante las operaciones de izado de armaduras y/o tubos de acero.
- Todos los operarios utilizarán los EPIS adecuados para cada trabajo.

10.4. SEGURIDAD DE LA MAQUINARIA UTILIZADA

La maquinaria a la que se refiere este apartado es: mini-retroexcavadora, dúmper, camión, grúa móvil y maquina de micropilotes.

10.4.1. RIESGOS MAS FRECUENTES

- Vuelcos y atrapamientos.
- Atropellos en maniobras marcha atrás.
- Choques entre máquinas.
- Formación de ambientes agresivos o molestos.
- Ruido.
- Explosión o incendios.
- Caídas al subir y bajar de las máquinas.

10.4.2. MEDIDAS PREVENTIVAS

- No se admitirán en obra máquinas que no vengan con la protección de cabina antivuelco o pórtico de seguridad (dúmper y mini-retroexcavadora).
- Se prohíbe que los conductores abandonen la máquina con el motor en marcha, con la cuchara izada y sin apoyar en el suelo (dúmper y mini-retroexcavadora).
- Se prohíbe transportar o izar personas en el interior de la cuchara (dúmper y mini-retroexcavadora).
- La intención de moverse se hará con el claxon.
- Las máquinas a utilizar en obra, estarán dotadas de luces y bocina de retroceso.
- Se prohíbe arrancar el motor sin antes cerciorarse de que no hay nadie en el área de operación de la máquina.
- No se realizarán operaciones de reparación o mantenimiento con la máquina funcionando.
- Las entrada y salidas a la obra se realizarán con precaución auxiliado por señales de un miembro de la obra.
- Se prohíbe la suspensión o transporte aéreo de personas mediante el gancho de la grúa.
- Las grúas a utilizar en obra, estarán dotadas de ganchos de acero normalizados dotados con pestillo de seguridad.

10.5. SEGURIDAD DE MEDIOS AUXILIARES MÁS COMUNES USADOS EN LA EJECUCIÓN DE RECALCES DE CIMENTACIONES MEDIANTE MICROPILOTAJE

- Amasadora, eléctrica/gasoil

10.5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Se usará para la realización de las lechadas y hormigones en obra.

10.5.2. RIESGOS MÁS FRECUENTES

- Descargas eléctricas.
- Atrapamientos por órganos móviles.
- Vuelcos y atropellos al cambiar de emplazamiento.

10.5.3. MEDIDAS PREVENTIVAS

- La máquina estará situada en superficie llana y consistente.
- Las partes móviles y de transmisión estarán protegidas con carcasa.
- Bajo ningún concepto se introducirá el brazo en el tambor cuando esta en funcionamiento la maquina.
- Zona de trabajo claramente delimitada.
- Correcta conservación de la Alimentación eléctrica.
- Cable de tierra, con pica.
- Carcasa metálica de Protección órganos móviles, siempre Cerrada.

10.6. SISTEMAS DE PROTECCIÓN COLECTIVA (SPC)

Los sistemas de protección colectiva en la ejecución de estructuras de hormigón han quedado expuestos en los apartados de medidas preventivas, ya que, éstas, intentan establecer unos sistemas de trabajo que protegen a todos, como, por ejemplo, el orden y la limpieza de las zonas de trabajo, y como ésta otras muchas.

10.7. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)

Por EPI entendemos, cualquier dispositivo o medio que va a llevar o del que vaya a disponer una persona, con objeto de que la proteja contra uno o varios riesgos que puedan amenazar su salud y su seguridad.

El empresario tiene la obligación de proteger a sus empleados dotándolos de EPI.

Los EPI no tienen homologación, sino que poseen certificados de cumplimiento de normas expedido por cada fabricante.

Todas las prendas de Protección Individual (EPI) o elementos de Protección Colectiva, tendrán fijado un período de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá esta, independientemente de la duración prevista o fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección se ajustará a lo dispuesto en el R.D. 773/97.

A continuación se detallan los EPI que tienen que ser utilizados por los trabajadores para realizar los trabajos de ejecución de recalces de cimentaciones mediante micropilotaje.

10.7.1. CASCO DE SEGURIDAD

Protege la cabeza de los trabajadores frente a:

- Caídas de herramientas, materiales o cualquier objeto.
- Golpes contra elementos móviles.
- Proyección de objetos.

10.7.2. GAFAS DE SEGURIDAD

Son utilizadas como protección de la vista contra proyecciones de materiales contra los ojos. Son de uso obligatorio cuando se utilice la radial, taladradora etc. También para trabajadores que están cerca de zonas donde se produce polvo.

10.7.3. GUANTES

Son diferentes los tipos de guantes existentes, que se adecuarán lo máximo posible al trabajo a realizar.

Los guantes son EPI que protegen de:

- Cortes producidos con la ferralla o del uso de otras herramientas.
- Posibles productos que puedan aparecer en obra perjudiciales para la piel.
- Abrasiones.
- Contactos eléctricos.

10.7.4. CALZADO DE SEGURIDAD

Es un calzado de uso profesional que proporciona protección en la parte de los dedos. Incorpora tope o puntera de seguridad que garantiza una protección suficiente frente al impacto con una energía equivalente de 200 Julios en el momento del choque y frente a la compresión estática, bajo una carga de 15 KN.

Este calzado protege de:

- Caídas de objetos sobre los pies.
- Golpes.
- Pisadas sobre objetos punzantes.

Este calzado es de uso obligatorio para todo tipo de trabajo, excepto casos excepcionales de no poder usar dicho material en los que habrá de acudir al médico para que le efectúe una revisión y emita el informe oportuno a fin de que el Coordinador de Seguridad adopte las medidas necesarias para dotar al trabajador del calzado adecuado.

10.7.5. EQUIPOS DE PROTECCIÓN AUDITIVA. TAPONCILLOS DE CERA O SILICONA

Los equipos de protección auditiva protegen frente al ruido producido por la maquinaria que se utiliza en obra.

10.7.6. EQUIPOS DE PROTECCIÓN DE LAS VÍAS RESPIRATORIAS. MASCARILLAS

Van a ser utilizadas cuando se están realizando trabajos que generan polvo y ambientes agresivos.

10.7.7. ROPA DE TRABAJO

Para riesgo: mecánicos, temperatura ambiente, químicos, acústicos, biológicos, proyecciones, radiaciones...

Serán necesarios trajes para tiempos lluviosos, los cuales serán impermeables.

10.8. SERVICIOS DE HIGIENE Y BIENESTAR

10.8.1. SERVICIOS HIGIENICOS

- En la obra, los trabajadores deberán disponer de agua potable.
- Los trabajadores deberán disponer de instalaciones para poder comer y, en su caso, para preparar sus comidas en condiciones de seguridad y salud.
- Los vestuarios deberán de ser de fácil acceso, tener las dimensiones suficientes y disponer de asientos e instalaciones que permitan a cada trabajador poner a secar, si fuera necesario, su ropa de trabajo.
- Cuando los vestuarios no sean necesarios, en el sentido del párrafo primero de este apartado, cada trabajador deberá poder disponer de un espacio para colocar su ropa y sus objetos personales bajo llave.
- Cuando el tipo de actividad o la salubridad lo requieran, se deberán poner a disposición de los trabajadores duchas apropiadas y en número suficiente.
- Cuando, con arreglo al párrafo primero de este apartado, no sean necesarias duchas, deberá haber lavabos suficientes y apropiados con agua caliente si fuere necesario, cerca de los puestos de trabajo y de los vestuarios.
- Los vestuarios, duchas lavabos y retretes estarán separados para hombres y mujeres, o deberá preverse una utilización por separado de los mismos.

10.8.2. PRIMEROS AUXILIOS

- Será responsabilidad del empresario garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello. Asimismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación.
- En todos los lugares en los que las condiciones de trabajo lo requieran se deberá disponer también de material de primeros auxilios, debidamente señalizado y de fácil acceso.

- Una señalización claramente visible deberá indicar la dirección y el número de teléfono del servicio local de urgencia.

10.8.3. EXPOSICIÓN A RIESGOS PARTICULARES

- Los trabajadores no deberán estar expuestos a niveles sonoros nocivos ni a factores externos nocivos (por ejemplo, gases, vapores, polvo).
- En caso de que algunos trabajadores deban penetrar en una zona cuya atmósfera pudiera contener sustancias tóxicas o nocivas, o no tener oxígeno en cantidad suficiente o ser inflamable, la atmósfera confinada deberá ser controlada y se deberán adoptar medidas adecuadas para prevenir cualquier peligro.

10.9. CONDICIONES TÉCNICAS DE LA MAQUINARIA

- Se cumplirá lo establecido en el RD.1495/86 en el que se aprueba el Reglamento de la Seguridad en las Maquinas, y el RD.1215/97 sobre Utilización de Equipos de Trabajo vinculados a emplear en los distintos tajos vinculados a éste Centro.
- Todo Equipo Trabajo y Máquinas que se emplee en ésta obra, irá acompañado de:
 - ◆ Instrucciones de USO, extendidas por el fabricante o importador.
 - ◆ Instrucciones técnicas complementarias.
 - ◆ Normas de Seguridad de la Maquinaria.
 - ◆ Placa de Identificación.
 - ◆ Contraseña del marcado "CE" y Certificación de Seguridad.
- El mantenimiento y reparación de estas máquinas quedará, asimismo, a cargo de tal personal, el cual seguirá siempre las instrucciones señaladas por el fabricante de las máquinas.
- Las operaciones de instalación y mantenimiento deberán registrarse documentalmente en los libros de registro pertinentes de cada máquina. De no existir estos libros para aquellas máquinas utilizadas con anterioridad en otras

obras, antes de su utilización, deberán ser revisadas en profundidad por personal competente, asignándoles el mencionado libro de registro de incidencias.

10.9.1. VEHÍCULOS Y MAQUINARIA PARA MOVIMIENTO DE TIERRAS Y MANIPULACIÓN DE MATERIALES

Todos los vehículos y toda maquinaria para movimientos de tierras y para manipulación de materiales deberán:

- Estar bien proyectados y contruidos, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, los principios de la ergonomía.
- Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
- Utilizarse correctamente.
- Los conductores y personal encargado de vehículos y maquinarias para movimientos de sierras y manipulación de materiales deberán recibir una Formación especial.
- Deberán adoptarse medidas preventivas para evitar que caigan en las excavaciones o en el agua vehículos o maquinarias para movimiento de sierras y manipulación de materiales.
- Cuando sea adecuado, las maquinarias para la excavación y manipulación de materiales deberán estar equipadas con estructuras concebidas para proteger al conductor contra el aplastamiento, en caso de vuelco de la máquina, y contra la caída de objetos.

10.9.2. INSTALACIONES, MÁQUINAS Y EQUIPOS

- Las instalaciones, máquinas y equipos utilizados en las obras, deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.
- Las instalaciones, máquinas y equipos, incluidas las herramientas manuales o sin motor, deberán:
 - ◆ Estar bien proyectados y contruidos, teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, los principios de la ergonomía.
 - ◆ Mantenerse en buen estado de funcionamiento.
 - ◆ Utilizarse exclusivamente para los trabajos que hayan sido diseñados.

- ◆ Ser manejados por trabajadores que hayan recibido una formación adecuada.
- Las instalaciones y los aparatos a presión deberán ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

10.10. CONDICIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

- La instalación eléctrica de los lugares de trabajo en las obras deberá ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.
- Las instalaciones deberán proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañen peligro de incendio ni de explosión y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.
- Los lugares de trabajo, los locales y las vías de circulación en la obra deberán disponer, en la medida de lo posible, de suficiente luz natural y tener la iluminación artificial adecuada y suficiente durante la noche y cuando no sea suficiente la luz natural. En su caso, se utilizarán puntos de iluminación portátiles con protección antichoques.
- Deberán verificarse y mantenerse con regularidad las instalaciones de distribución de energía presentes en la obra, en particular las que estén sometidas a factores externos.
- Las instalaciones existentes antes del comienzo de la obra deberán estar localizadas, verificadas y señalizadas claramente.
- Cuando existan líneas de tendido eléctrico aéreas que puedan afectar a la seguridad en la obra será necesario desviarlas fuera del recinto de la obra o dejarlas sin tensión. Si esto no fuera posible, se colocarán barreras o avisos para que los vehículos y las instalaciones se mantengan alejados de las mismas.
- La instalación eléctrica provisional de obra se realizará siguiendo las pautas señaladas en los aparatos correspondientes de la Memoria Descriptiva y de los Planos, debiendo ser realizada por empresa autorizada y siendo de aplicación lo señalado en el vigente R.E.B.T. y Norma UNE 21.027.

- Todas las líneas estarán formadas por cables unipolares con conductores de cobre y aislados con goma o policloruro de vinilo, para una tensión nominal de 1.000 voltios.
- Todos los cables que presenten defectos superficiales u otros no particularmente visibles, serán rechazados.
- Los tubos constituidos de P.V.C. o polietileno, deberán soportar sin deformación alguna, una temperatura de 60°C.
- Los conductores de la instalación se identificarán por los colores de su aislamiento.
- En los cuadros, tanto principales como secundarios, se dispondrán todos aquellos aparatos de mando, protección y maniobra para la protección contra sobrecargas (sobrecarga y corto circuitos) y contra contactos directos e indirectos, tanto en los circuitos de alumbrado como de fuerza.
- Los aparatos a instalar son los siguientes:
- Un interruptor general automático magnetotérmico de corte omnipolar que permita su accionamiento manual, para cada servicio.
- Dispositivos de protección contra sobrecargas y corto circuitos. Estos dispositivos son interruptores automáticos magnetotérmico, de corte omnipolar, con curva térmica de corte.
- Dispositivos de protección contra contactos indirectos que al haberse optado por sistema de la clase B, son los interruptores diferenciales sensibles a la intensidad de defecto. Estos dispositivos se complementarán con la unión a una misma toma de tierra todas las masas metálicas accesibles. Los interruptores diferenciales se instalan entre el interruptor general de cada servicio y los dispositivos de protección contra sobrecargas y corto circuitos, a fin de que estén protegidos por estos dispositivos.
- Cable de cobre y picas de Tierra.
- En los interruptores de los distintos cuadros, se colocarán placas indicadoras de los circuitos a que pertenecen, así como dispositivos de mando y protección para cada una de las líneas generales de distribución y la alimentación directa a los receptores.

BIBLIOGRAFÍA:

De Justo, J.L. & C. Oteo (1980)
Patología de las cimentaciones. Recalces
en J.A. Jiménez Salas "Geotecnia y cimientos", vol. 3 Ed. Rueda, Madrid.

González Caballero, M. (2001)
El Terreno
Edit. UPC

Jiménez Salas, J.A. y otros.
Geotecnia y Cimientos
Editorial Rueda.

Maña, F. (1978)
Patología de las cimentaciones
Edit. Blume, Barcelona.

Nuñez, J. (1974)
"Recalces" en Jornadas Técnicas sobre Patología de la Edificación
Centro de estudios de Ingeniería y Arquitectura, Madrid.

Romana Ruiz, Manuel (2003)
II Curso sobre recalces, Inclusiones, Inyecciones y Jet-grouting
Edit. UPV

Varios Autores (1997)
Manuales de Patología y Rehabilitación
Master de Rehabilitación de la ETS de Arquitectos de Madrid. Tomo II

Varios Autores (2003)
Micropilotes
Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS, 3º sesión

Catálogos y manuales de empresas:

RODIO –Cimentaciones Especiales, S.A.

I.F.C. -Cimentaciones Especiales, S.A.

CIMUR -Cimientos y Pantallas, S.L.

WEBS

- http://www.ingenieroleoni.com.ar/Micropilotes_Anclajes.pdf (Apuntes sobre micropilotes inyectados – Universidad Nacional de la Plata).
- http://www.articulo.org/articulo/16932/los_micropilotes.html (artículo).
- <http://www.arquicity.com/micropilotes.html>
- <http://geojuanjo.blogspot.com.es/2012/01/los-micropilotes-si-tienen-normativa.html>
- <http://www.pilotesyanclajes.com.ar/productosMicropilotes.html>
- <http://www.ldh-geotecnia.com/serv04.htm>
- <http://micropilotes.blogspot.com.es/>

ANEXOS

- ANEXO 1 (*EJEMPLO DE RECALCE*)
- ANEXO 2 (*DETALLES CONSTRUCTIVOS*)
- ANEXO 3 (*DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA*)
- ANEXO 4 (*FICHA TÉCNICA DE MAQUINARIA DE PERFORACIÓN*)

ANEXO 1

EJEMPLO DE RECALCE DE EDIFICIO DE VIVIENDAS MEDIANTE MICROPILOTES

La actuación se realizó en varios grupos de viviendas, de planta baja y tres alturas, situados en torno a una gran manzana central.

La estructura de los Bloques está compuesta por muros de fábrica de ladrillo macizo de un pie de espesor. Estos cerramientos se disponen en todo el perímetro de los edificios, apoyándose los forjados en muros de carga perpendiculares a la fachada principal. La tabiquería está constituida por paramentos de ladrillo hueco, trabados con mortero de cemento.

Los forjados se resuelven con viguetas o semiviguetas de hormigón y bovedillas de mortero de cemento. Las luces entre vanos no superan en general los 4 m. Las soleras, apoyadas directamente contra el terreno, son de hormigón en masa de unos 15 cm. de espesor.

La cimentación en donde apoyan los muros de carga está formada por zapatas corridas de hormigón en masa, de muy baja resistencia, y pocas veces por arcos de hormigón que descargan en pozos de cimentación, de no más de 1,50 m. de profundidad.

El área ocupada por la urbanización era antiguamente una gravera en explotación, que una vez agotada y ya efectuada una gran excavación en la zona central, se relleno con escombros de muy variada naturaleza. Sobre ellos se efectuó la implantación de las viviendas.

En concordancia con lo anterior los sondeos realizados detectaron un primer nivel de rellenos antrópicos, de muy variada naturaleza pero en donde predominaban las arcillas con ladrillos y restos de construcción, en un espesor variable entre 3 y 6 m., que apoyaban en gravas redondeadas cuarcíticas con matriz arenosa, y ocasionalmente limo-arcillosos, procedentes de depósitos aluviales. A mayor profundidad se sitúa el sustrato terciario de la zona, formado por un conglomerado de cantos cuarcíticos.

La cimentación de los edificios, muy superficial, apoyaba en los rellenos superiores siendo esta la causa de la mayor parte de su patología.

Estos daños, que según testimonio de los vecinos parece que se produjeron en su mayor parte en los primeros años de vida de los edificios, se pueden agrupar en dos grandes familias: fisuras y humedades.

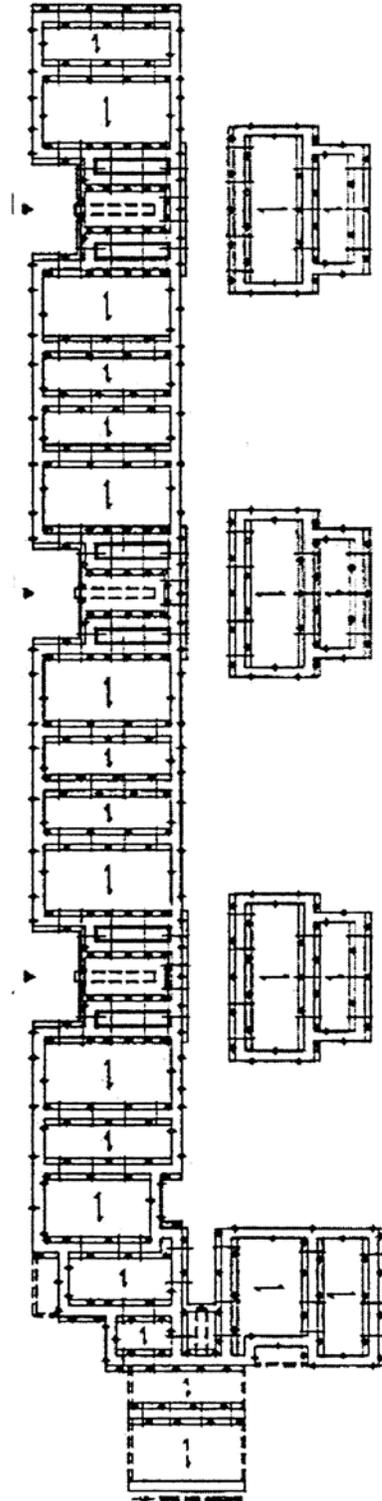
Las fisuras, por cantidad y magnitud, constituían las lesiones mas graves. Se localizaban fisuras en la cimentación, seccionando las zapatas corridas y los arcos de descarga en su arranque de los pozos de cimentación, fisuras en muros de carga y paramentos verticales, y de menor importancia en techos. Se atribuyo esta patología a asientos diferenciales en la cimentación por la escasa capacidad portante del terreno en que apoyaba. Las humedades se localizaban fundamentalmente en los suelos de la planta baja y en los paramentos verticales de estas mismas viviendas. Su origen se atribuyó a roturas localizadas en las redes de saneamiento y abastecimiento, arrastradas por los movimientos de la cimentación, y por su antigüedad. El apoyo de la solera directamente sobre el terreno facilitaba la transmisión de humedades a la misma, y por capilaridad, a los cerramientos verticales.

Aunque se pensaba que los movimientos de la cimentación, provocados por la consolidación de los rellenos, ya se habían producido en su mayor parte, su naturaleza y falta de compacidad (procedían en muchos casos de vertidos incontrolados) le confería una potencial colapsabilidad que aconsejaba que no continuara siendo, en esas condiciones, el nivel de apoyo de la cimentación.

Se decidió, tras barajar otras alternativas, recalzar la cimentación con micropilotes de 150 mm. de diámetro, armados con tubería de acero (de 2.400 Kg/cm² de límite elástico) de 60 mm. de diámetro exterior y 3,5 mm. de espesor, e inyectados con lechada de cemento en unos casos. y mortero en otros, de 250 Kg/cm² de resistencia característica.

Se dispusieron en general al tresbolillo, alternativamente a un lado y otro de las zapatas corridas, y separaciones no superiores a 1,50 m. De esta forma la carga máxima transmitida a los micropilotes no superaba las 18 T. Como se despreciaba la colaboración de los rellenos y se asignaba al estrato de gravas con arenas un rozamiento unitario de hundimiento por fuste de 2 Kg/cm², se fijaba un empotramiento de los micropilotes en este nivel de 4 m., con un coeficiente de minoración de valor 2.

PLANTA DE LA SITUACIÓN DE LOS MICROPILOTES



Planta de replanteo de micropilotes

(Detalle facilitado por IFC Cimentaciones Especiales S.A.)

La perforación se realizó ha roto-percusión, con equipo Klemm 701 de reducidas dimensiones, al amparo de una entubación metálica recuperable, inyectándose a baja presión a través de la tubería que sirve de armadura (inyección única global).

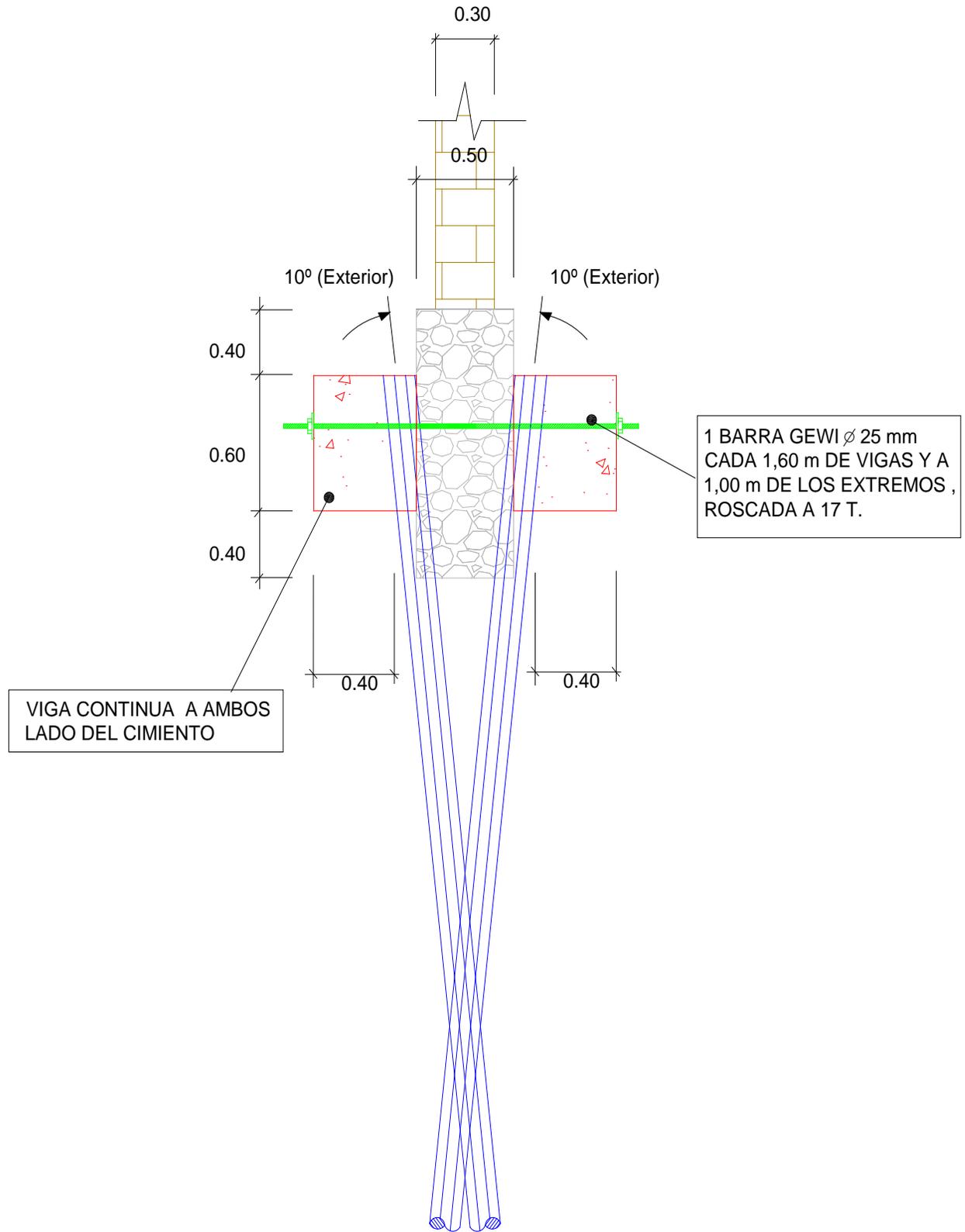


-FOTO 1. FOTO DE LA MÁQUINA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DE LOS MICROPILOTES

(Fuente de la foto IFC cimentaciones Especiales S.A.)

La transmisión de los esfuerzos de los muros de carga a los micropilotes no se pudo realizar utilizando como elemento transmisor, las zapatas de los edificios. No lo permitía sus reducidas dimensiones y su muy baja capacidad estructural (mínimo contenido de cemento y existencia de roturas).

Por estas razones se realizó mediante vigas paralelas a ambos lados de la cimentación, adosadas y comprimidas a la misma mediante tensores de barra Gewi de 25 mm. de diámetro, en acero de 5.100 Kg/cm² de límite elástico, con placa y rosca en ambos extremos, tensados a 17 T. En algunas zonas, en donde no era posible por falta de espacio situar micropilotes a ambos lados de los muros, se crearon vigas que zunchaban recintos completos.

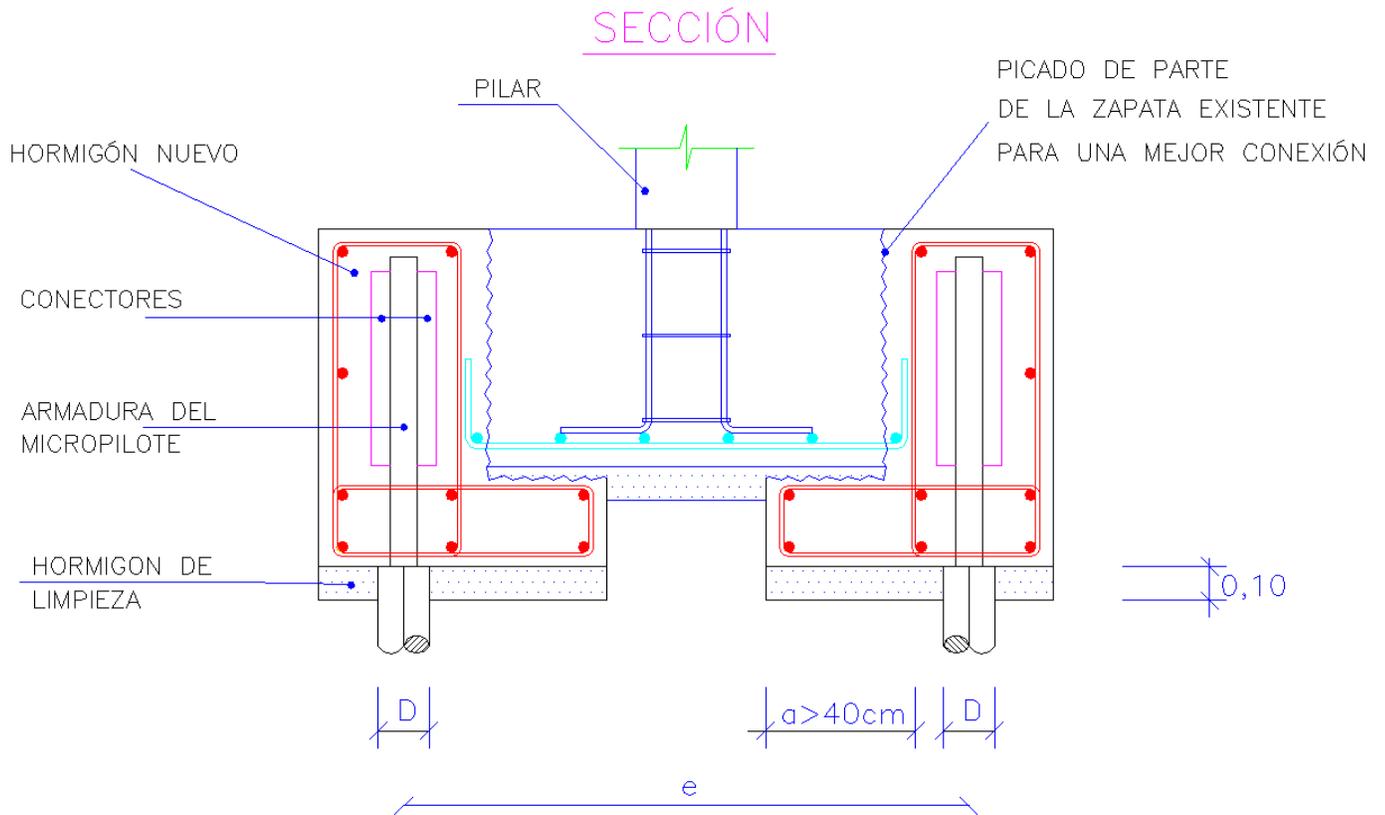


(Fuente Autor.)

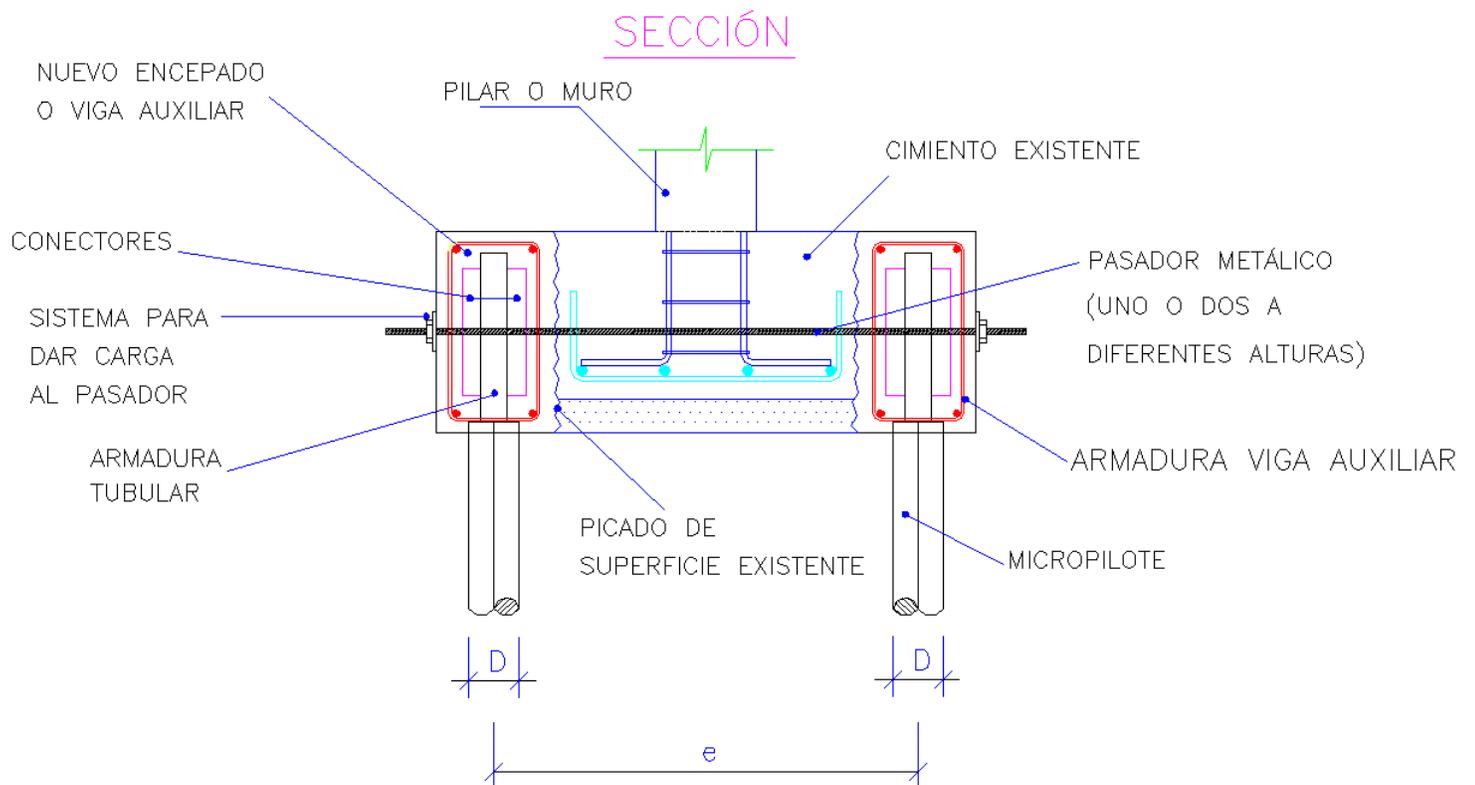
SECCIÓN TRANSVERSAL DEL RECALCE

Esta solución presentaba tres ventajas, frente a otras alternativas, que suelen ser determinantes cuando se aborda la rehabilitación de un edificio habitado sujeto a patologías de origen geotécnico:

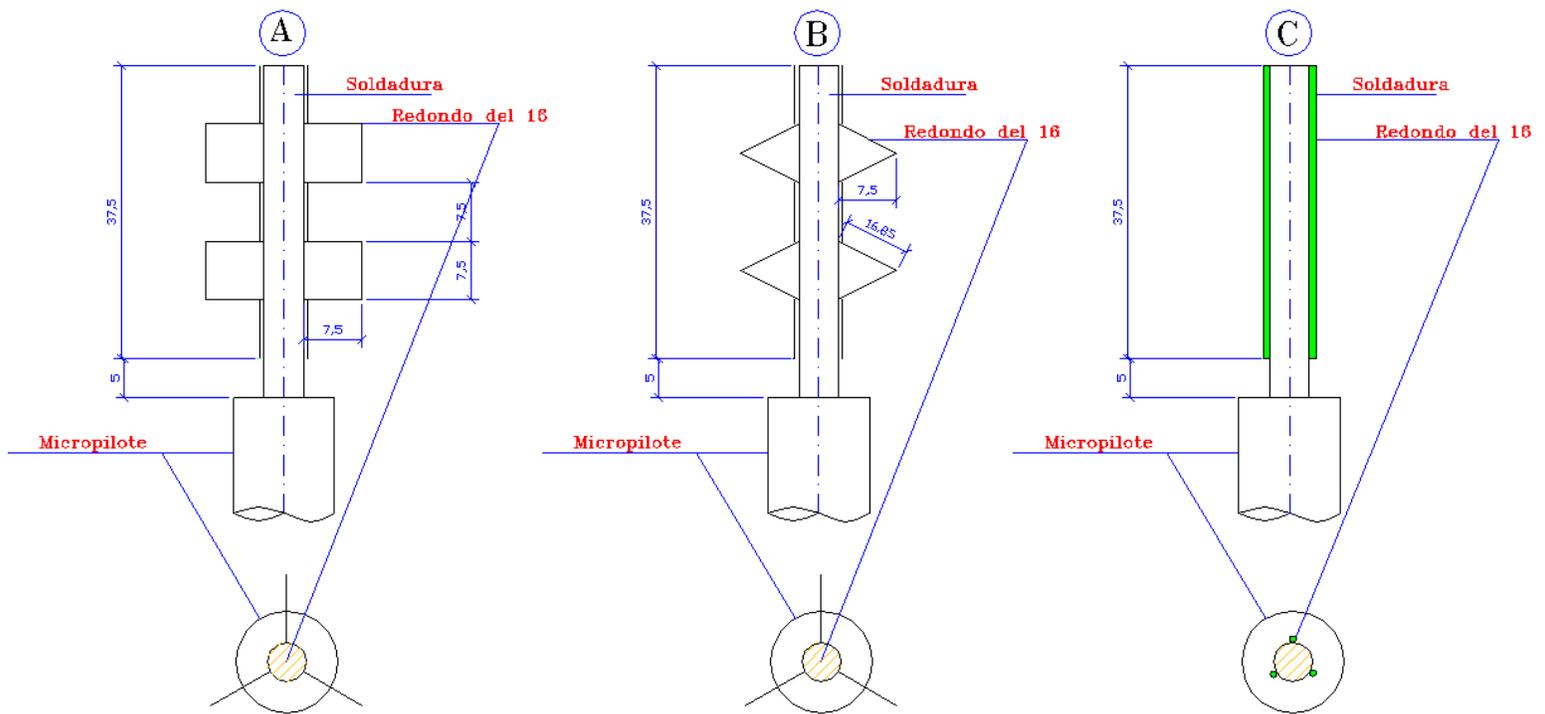
1. Las reducidas dimensiones de los equipos permitían su acceso a espacios muy reducidos, tanto en gálibo como en planta, sin obligar a la apertura de grandes huecos de entrada.
2. Constituye una solución flexible frente a los cambios que fueran preciso adoptar a medida que se iba descubriendo la cimentación.
3. Minimiza las molestias ocasionadas por los trabajos a la mayor parte de los vecinos. Era preciso únicamente programar los desalojos escalonados de los vecinos de la planta baja y su alojamiento en las caracolas provisionales.

ANEXO 2**DETALLES CONSTRUCTIVOS DE RECALCES DE CIMENTACIONES MEDIANTE MICROPILOTAJE**

DETALLE 1- Detalle de recalce de una zapata de forma indirecta. La forma de transmitir las cargas a los micropilotes es a través de un encepado con un tacón situado por debajo de la zapata , haciendo que esta descansa sobre dicho tacón transmitiendo directamente su carga, formando un solo cuerpo. La conexión de la armadura del micropilote con en encepado mejora colocándole unos conectores. (Fuente Autor)

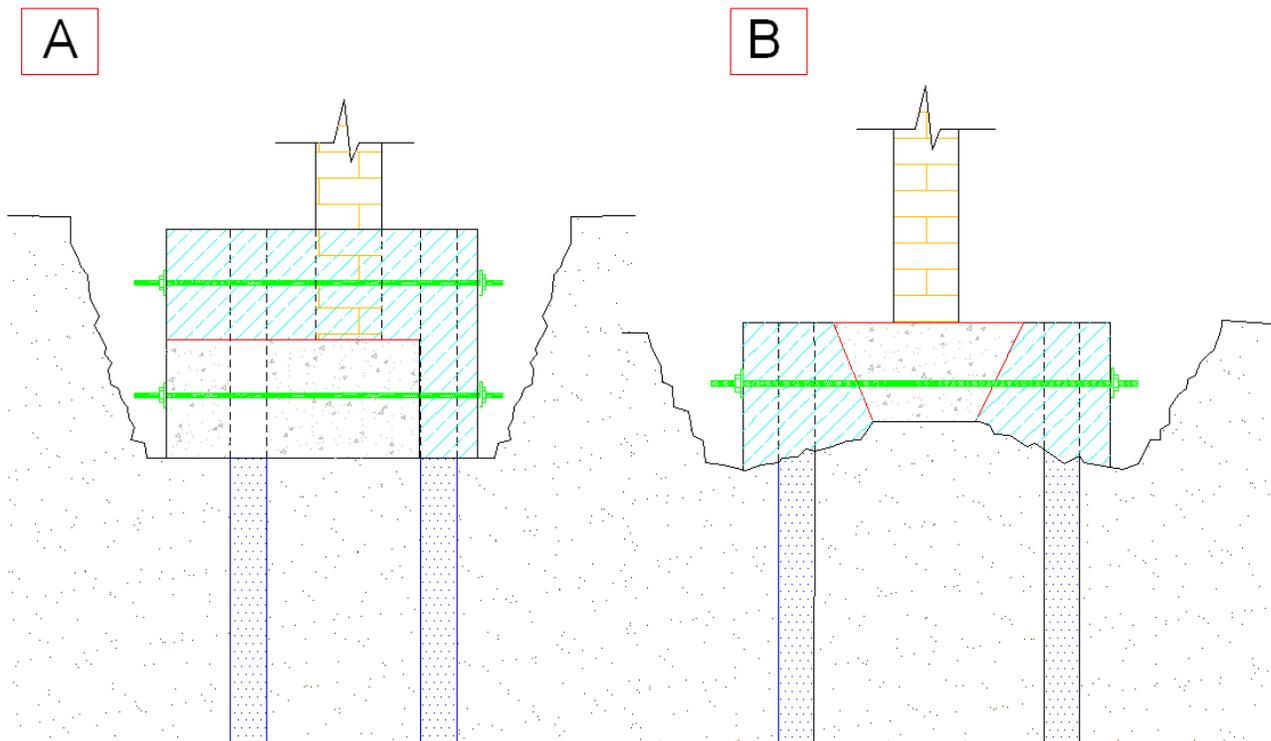


DETALLE 2- Detalle de recalce de una zapata de forma indirecta. En este caso, la forma de transmitir las cargas a los micropilotes, es adosando dos vigas paralelas a la cimentación que encepnan los micropilotes y que se unen a la zapata mediante un serie de pasadores transversales. (Fuente Autor)



DETALLE 3- Detalles de conectores para la conexión del micropilote al encepado.

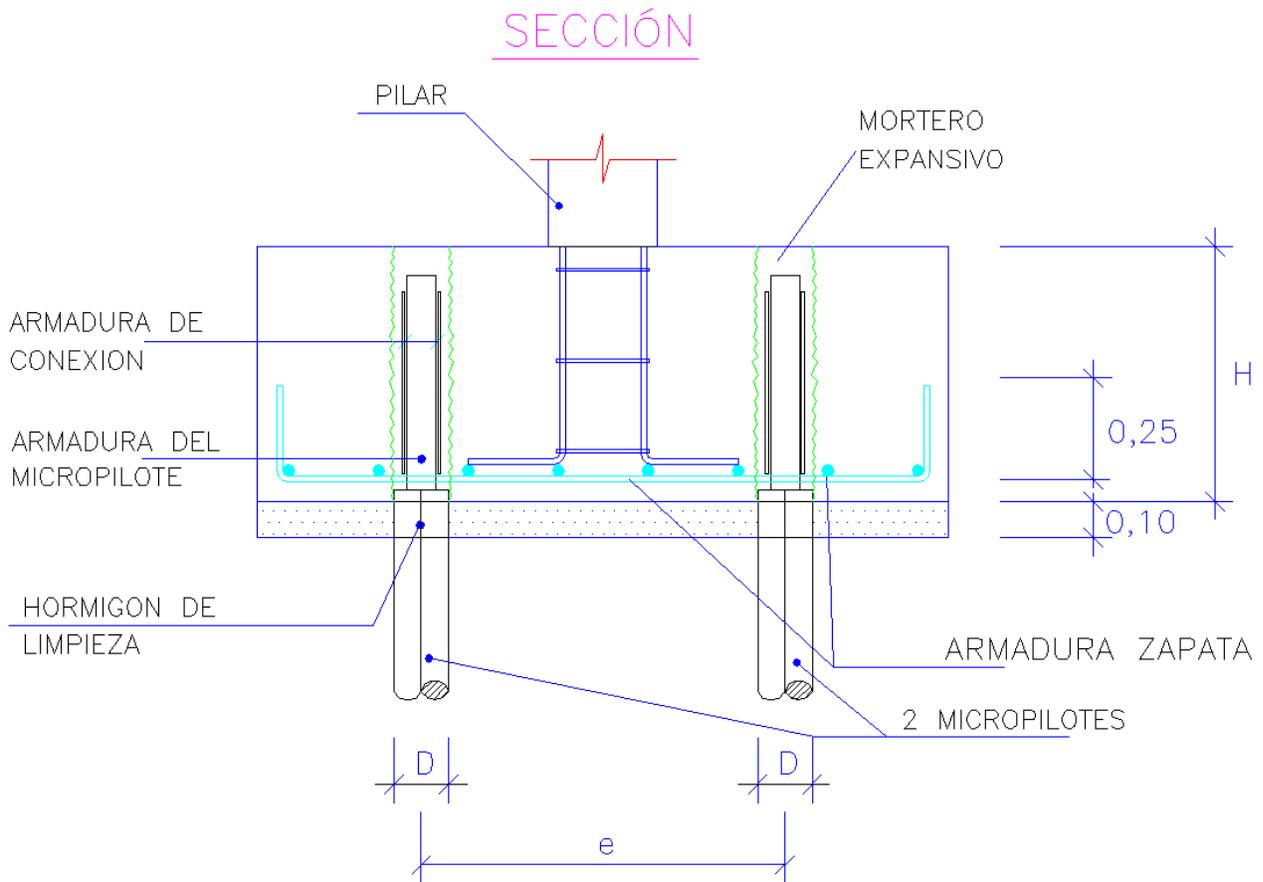
(Fuente Autor)



DETALLE 4- a) Detalle de recalce de una zapata de forma mixta. En la cual uno de los micropilotes atraviesa la zapata y se prolonga por encima de esta, y el otro micropilote se ejecuta fuera de la zapata y se une al otro micro mediante un gran encepado que abraza toda la zapata, por la parte superior, y a través de unos pasadores como se expresa en el detalle.

b) Este detalle es un caso parecido al Detalle 2 (antes expuesto), con la única diferencia que en este caso se corta la zapata con una forma de cuña, de manera que se mejora la transmisión de la cargas a los encepados y de estos a los micropilotes.

(Fuente Autor)



DETALLE 5- Detalle de recalce de una zapata de forma directa. En la cual el micropilote atraviesa la zapata. La conexión de la armadura del micropilote el mortero expansivo mejora colocándole unos conectores como se ve en el micropilote de la izquierda. (Fuente del detalle Autor)

ANEXO 3**DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA**

-FOTO 1. FOTO DE LA MÁQUINA UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DE LOS MICROPILOTES PARA RECÁLCE, TRABAJANDO EN EL SÓTANO DE UNA NAVE INDUSTRIAL EN VILLAVERDE (MADRID)
(Fotografía del Autor)



-FOTO 2. FOTO DE OTRA MÁQUINA DE SIMILARES CARACTERÍSTICAS UTILIZADA EN LA EJECUCIÓN DE LOS MICROPILOTES PARA RECÁLCE, TRABAJANDO BAJO UN SÓTANO EN UN EDIFICIO DE EL

BARRIO DE EL CARMEL (BARCELONA). ESTAS MÁQUINAS SE CARACTERIZAN POR SU PEQUEÑO TAMAÑO PARA QUE LES PERMITA ACCEDER A SÓTANOS. (Fotografía del Autor)



-FOTO 3. FOTOGRAFÍA DE UNA CIMENTACIÓN DEL BARRIO DE EL CARMEL(BARCELONA) EN PROCESO RECALCE, EN LA QUE SE PUDEN VER LOS MICROPILOTES YA EJECUTADOS ASI COMO LOS PERFILES (HEB) DE UNIÓN DE LA CIMENTACIÓN CON LOS MICROPILOTES, A FALTE DE EJECUTAR EL ENCEPADO DE UNIÓN. (Fotografía del Autor)



-FOTO 4. FOTOGRAFÍA EN LA QUE SE OBSERVA LOS PUNTOS REPLANTEADOS PARA EL ANCLAJE EN LA CIMENTACIÓN DE LAS BARRAS DE ACERO TIPO GEWI. (Fotografía del Autor)



-FOTO 5. FOTOGRAFÍA GENERAL DEL SÓTANO EN LA QUE SE ESTÁ EJECUTANDO EL ARMADO DE LOS ENCEPADOS DE UNION DE LOS MICROPILOTES CON LA CIMENTACIÓN. (Fotografía del Autor)



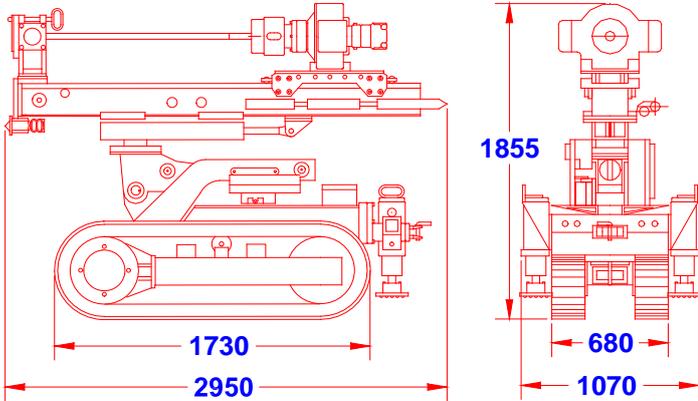
-FOTO 6. FOTOGRAFÍA DEL ARMADO DE LA LOSA QUE VA A SERVIR DE UNIÓN ENTRE LOS MICROPILOTES Y LA CIMENTACIÓN. EN LA QUE TAMBIEN SE PUEDE APRECIAR AL FONDO DE LA FOTOGRAFÍA, EL APUNTALAMIENTO DE PARTE DEL EDIFICIO. (Fotografía del Autor)



-FOTO 7. FOTOGRAFÍA DE LA ARMADURA TUBULAR UTILIZADA EN LOS MICROPILOTES EN LA QUE SE VE EL DETALLE DEL MANGUITO, FORMADO POR UNA BANDA DE NEOPRENO, POR DONDE SANDRÁ LA LECHADA EN EL MOMENTO DE LA INYECCIÓN. (Fotografía del Autor)



-FOTO 8. FOTO DE LOS TRAMOS DE ENTUBACIONES QUE SE UTILIZÁN PARA LA PERFORACIÓN. LOS CUALES TIENEN QUE SER LIMPIADOS, Y ENGARASADA SU ROSCA, DESPUES DE CADA UTILIZACIÓN. (Fotografía del Autor)

ANEXO 4**VAGON PERFORADOR****KLEMM-701****DESCRIPCIÓN.-**

Vagón perforador sobre orugas muy versátil de movimientos e indicado principalmente para micropilotes, anclajes, inyección y perforaciones de investigación de suelos, que se lleven a cabo en lugares de espacio reducido.

La unidad está compuesta por la perforadora y por un grupo hidráulico.

Las funciones de perforación así como los del movimiento se controlan desde un cuadro de mandos portátil.

Está diseñada tanto para la perforación a rotación como para poder perforar con rotopercusión.

Se puede equipar con:

- Cabezas rotopercutoras (martillo 0-4052, 0-4053)
- Cabezas de rotación pura (HDK).

**CARACTERÍSTICAS PERFORADORA.-
TRASLACIÓN:**

® Fuerza tracción (kp):	2.000
® Velocidad (km/h):	2,5
® Longitud orugas (mm):	1.730
® Pres. especif. s/ suelo (kg/cm ²):	0,56
® Anchura tejas (mm):	200
® Anchura de orugas (mm):	680/880

MÁSTIL:

® Tipo (V):		160
® Longitud total (mm):		2.950
	de avance	de retroceso
® Fuerza (kg):	2.650	4.286
® Vel. lenta (m/min):	10,2	6,9
® Vel. rápida (m/min):	48,3	32,5
® Longitud de avance (mm):		1.700

(menos pérdidas del cabezal con que se equipe).

CARACTERÍSTICAS GRUPO HIDRÁULICO.-

(Unidad Hidráulica- Modelo- PPMR-701E)

MOTOR:

® Tipo:	1L16253 (Eléctrico)
® Potencia (kw):	55
® R.p.m.:	1.475
® Fabricante:	AEG
® Sist. Eléct (V-Hz):	380-50
® Arranque:	estrella/triángulo

BOMBAS HIDRÁULICAS:

® Presión (bar):	250
® Caudal (l/min):	1 x 94 / 1 x 74 / 1 x 12

DISTANCIA EJE PERFORACIÓN A MEDIANERA: según cabezal que se monte. (mínimo 260 mm con 0-4053)

DIMENSIONES EN TRANSPORTE: **PERFORADORA** 2.930 x 1.070 x 1.855 mm. **UD. HIDRÁULICA** 3.050 x 450 x 1.200 mm.

PESO EN TRANSPORTE: 3.000 kg. 1.700 kg.

Fecha