

DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA: Nº 576R /17

Área genérica / Uso previsto:

**SISTEMA DE MEJORA O
REFUERZO DE TERRENOS**

Nombre comercial:

MIXPILE®

Beneficiario:

MIXAN MIX ANDALUCÍA, S.L.

Sede Social:

Plaza de la Solidaridad, 12, 5ª planta
29002 MÁLAGA. España
Tel. (+34) 952 226 313
E-mail: tecnicos@mixan.es

Validez. Desde:
Hasta:

16 de octubre de 2017
16 de octubre de 2022
(Condicionada a seguimiento anual)

Este Documento consta de 19 páginas



MIEMBRO DE:

UNIÓN EUROPEA PARA LA EVALUACIÓN DE LA IDONEIDAD TÉCNICA
UNION EUROPEENNE POUR L'AGREMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION
EUROPEAN UNION OF AGREEMENT
EUROPÄISCHE UNION FÜR DAS AGREEMENT IN BAUWESEN

MUY IMPORTANTE

El DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA constituye, por definición, una apreciación técnica favorable por parte del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, de la aptitud de empleo en construcción de materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales destinados a un uso determinado y específico.

Antes de utilizar el material, sistema o procedimiento al que se refiere, es preciso el conocimiento integro del Documento, por lo que éste deberá ser suministrado, por el titular del mismo, en su totalidad.

La modificación de las características de los productos o el no respetar las condiciones de utilización, así como las observaciones de la Comisión de Expertos, invalida la presente evaluación técnica.

C.D.U.: 624.138.23

Mejora de suelo por mezcla con diversos materiales de construcción. Estabilización de suelos con cemento.

Soil improvenent with a binding agent. Stabilization of soils with cement. Amélioration du sol parquet par mélange avec divers matériaux de construction. Stabilisation des sols avec ciment.

DECISIÓN NÚM. 576R/17

LA DIRECTORA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA,

- en virtud del Decreto nº. 3.652/1963, de 26 de diciembre, de la Presidencia del Gobierno, por el que se faculta al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, para extender el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA de los materiales, sistemas y procedimientos no tradicionales de construcción utilizados en la edificación y obras públicas, y de la Orden nº. 1.265/1988, de 23 de diciembre, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno, por la que se regula su concesión,
- considerando el artículo 5.2, apartado 5, del Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE) sobre conformidad con el CTE de los productos, equipos y sistemas innovadores, que establece que un sistema constructivo es conforme con el CTE si dispone de una evaluación técnica favorable de su idoneidad para el uso previsto,
- considerando las especificaciones establecidas en el Reglamento para el Seguimiento del DIT del 28 de octubre de 1998,
- considerando la solicitud formulada por la Sociedad MIXAN MIX ANDALUCIA, S.L., para la RENOVACIÓN del DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA nº. 576/11 al Sistema de mejora o refuerzo de terrenos MIXPILE[®],
- en virtud de los vigentes Estatutos de l'Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc),
- teniendo en cuenta los informes de visitas a obras realizadas por representantes del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, los informes de los ensayos realizados en el IETcc, así como las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos, en sesiones celebradas los días 28 de noviembre de 2011 y 13 de julio de 2017.

DECIDE:

Conceder el DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA número 576R/17, al **Sistema de mejora o refuerzo de terrenos MIXPILE[®]**, considerando que,

La evaluación técnica realizada permite concluir que el Sistema es **CONFORME CON EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN**, siempre que se respete el contenido completo del presente documento y en particular las siguientes condiciones:

CONDICIONES GENERALES

El presente DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA evalúa exclusivamente el Sistema constructivo propuesto por el fabricante, debiendo para cada caso, de acuerdo con la normativa vigente, acompañarse del correspondiente proyecto técnico y llevarse a término mediante la dirección de obra correspondiente.

Para el desarrollo del proyecto técnico citado anteriormente MIXAN MIX ANDALUCIA, S.L., realizará un informe técnico en el que se justificará el cumplimiento de la normativa en vigor, aportando la correspondiente memoria de cálculo con los parámetros del comportamiento mecánico del terreno mejorado o reforzado, toda la información necesaria de cada uno de los componentes, especificaciones de los materiales a emplear y la documentación gráfica en la que se detallen el diámetro y longitud de las “columnas” y distancia entre ellas, cotas, etc, definidas en función del tipo de terreno y de las características y cargas del edificio u obra a implantar.

CONDICIONES DE CÁLCULO

En cada caso, y en función del tipo de terreno, el fabricante comprobará, de acuerdo con las condiciones de cálculo indicadas en el Informe Técnico de este Documento, que los coeficientes de seguridad que garantizan la capacidad portante y estabilidad global del terreno, son las definidas en este Documento, de acuerdo con el Código Técnico de Edificación.

CONDICIONES DE FABRICACIÓN Y CONTROL

El fabricante deberá mantener el autocontrol que en la actualidad realiza sobre las materias primas, el proceso de fabricación y el producto acabado, conforme a las indicaciones que se dan en el apartado 6 del presente documento, que no será menor del prescrito en la reglamentación vigente.

CONDICIONES DE UTILIZACIÓN Y PUESTA EN OBRA

La puesta en obra del sistema debe realizarla MIXAN MIX ANDALUCIA, S.L., o empresas especializadas y autorizadas por ésta y según sus instrucciones y asesoramiento técnico asegurando que la utilización del Sistema se efectúa en las condiciones y campos de aplicación cubiertos por el presente Documento respetando las observaciones formuladas por la Comisión de Expertos. Esta relación actualizada se encuentra depositada para su consulta en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc).

VALIDEZ

El presente Documento de Idoneidad Técnica número 576R/17 es válido durante un período de cinco años a condición de que:

- el fabricante no modifique ninguna de las características del producto indicadas en el presente Documento de Idoneidad Técnica,
- el fabricante realice un autocontrol sistemático de la producción tal y como se indica en el Informe Técnico,
- anualmente se realice un seguimiento, por parte del Instituto, que constate el cumplimiento de las condiciones anteriores, visitando, si lo considera oportuno, alguna de las obras realizadas.

Con el resultado favorable del seguimiento, el IETcc emitirá anualmente un certificado que deberá acompañar al DIT, para darle validez.

Este Documento deberá, por tanto, renovarse antes del 16 de octubre de 2022.

Madrid, 16 de octubre de 2017.

LA DIRECTORA DEL INSTITUTO DE CIENCIAS
DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA



Marta María Castellote Armero

INFORME TÉCNICO

1. OBJETO

El sistema de mejora o refuerzo de terrenos Mixpile® consiste en la mezcla del terreno natural con lechada de cemento, creando unas columnas de resistencia adecuada sobre las que se apoya la cimentación.

De este modo, se consigue atravesar las capas de terreno que no resulten idóneas para apoyar sobre ellas una cimentación, a la vez que se mejoran sus características geomecánicas tales como la estabilidad, la resistencia al corte, la capacidad portante, la compresibilidad, etc.

La gama de aplicaciones del sistema abarca desde la cimentación de todo tipo de edificaciones donde haya que reforzar o mejorar los parámetros resistentes, hasta la estabilización de laderas y ejecución de terraplenes de carreteras y ferrocarriles.

Para la realización de contenciones en las que se necesite que la columna Mixpile® trabaje a flexión, la resistencia al corte de la columna se garantiza por el hincado de perfiles metálicos en ella mientras la lechada de cemento está fresca. Esta aplicación no ha sido evaluada para el presente documento.

Según las definiciones incluidas en el CTE DB SE-C, el campo de aplicación previsto se podría delimitar dentro de su capítulo 8: «Mejora o refuerzo del terreno», o dentro del capítulo 5 «Cimentaciones profundas» como zonas pilotadas, es decir, como pilotes de escasa capacidad portante individual situados regularmente espaciados y destinados a reducir asentamientos o a mejorar la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones.

Los objetivos de la mejora del terreno son:

- Estabilización y homogeneización del terreno.
- Mejora de su capacidad portante y resistencia al corte.
- Incremento de la rigidez para la mejora de la aptitud al servicio con la reducción de asentamientos.
- Reducción del empuje activo.
- Aumento del empuje pasivo.

2. PRINCIPIO Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de refuerzo o mejora del terreno Mixpile® realizado mediante el mezclado profundo del suelo existente con lechada de cemento inyectada, disminuye la compresibilidad del mismo, provocando una reducción de los asentamientos en la cimentación, un aumento de la presión admisible y de su rigidez. Por tanto, incrementa la resistencia al corte del terreno, mejorando su capacidad portante y aptitud al servicio y en consecuencia la de los elementos de cimentación y de contención situados sobre él.

En adelante, en este documento, se denominará Mixpile® tanto al sistema de refuerzo o mejora de terreno como a cada una de las columnas obtenidas por este procedimiento.

El proceso comienza con la realización de un Estudio Geotécnico para caracterizar las propiedades iniciales del terreno, para una obra concreta y de acuerdo con las indicaciones del capítulo 3 del CTE DB SE-C.

Con ello se pueden definir las condiciones de la lechada a incorporar al terreno, y el replanteo de las columnas de la mezcla, tanto en profundidad como en separación, así como las propiedades del material mejorado.

La ejecución del proceso de mejora del terreno comienza con el posicionamiento correcto del útil de mezclado según el replanteo previo.

A continuación, se introduce un tubo que soporta, en el primer metro del extremo inferior, unas paletas de mezclado que cortan y disgregan el suelo hasta la profundidad de tratamiento deseada.

Durante la introducción y/o extracción del tubo en el terreno, se inyecta la lechada de cemento en el suelo con un flujo constante, mezclando el suelo con la lechada.

La operación de subida y bajada del tubo se realiza varias veces para garantizar la homogeneidad de la mezcla, evitando variaciones de las características de las columnas en función de la profundidad.

Al suelo natural se le aporta una lechada de cemento inyectada que produce un doble efecto; por una parte, densifica dicho suelo y por otra, origina unas columnas (suelo/cemento) en masa, con resistencias a compresión simple que oscilan entre 5 y 15 MPa.

Al no extraer ninguna fracción del terreno durante el proceso y mezclarlo con la lechada de cemento, el material se densifica y, no se generan residuos.

No se producen, tampoco, vibraciones que puedan perjudicar edificaciones o construcciones cercanas.

El replanteo de las columnas de terreno mejorado Mixpile® puede realizarse siguiendo diferentes formas y configuraciones tales como:

- Cuadrícula
- Tresbolillo
- Solapadas

Las columnas de Mixpile® suelen disponerse formando una malla más o menos uniforme sobre la que se colocará una losa de cimentación. Dicha losa producirá un reparto de la carga que, posteriormente, se trasladará a las columnas. Véanse figuras 1 y 2.

Los parámetros habituales del replanteo de las columnas de suelo mejorado con la lechada de

cemento y de la instalación y la mezcla son los siguientes:

- Velocidad de rotación: 5 - 20 r.p.m.
- Cantidad de cemento: 350-650 kg/m³ de suelo mezclado.
- Longitud de columna: Hasta 15 m.
- Profundidad mínima: 2,00 m.
- Diámetro de columna: 450 – 900 mm.
- Separación máxima entre ejes ≤ 3 m (para columnas de 450 mm de diámetro).

La velocidad de rotación depende de las características y condiciones del terreno natural. Los dos parámetros que principalmente condicionan el proceso de mezcla y distribución del material de aportación son el límite líquido y el índice de plasticidad del terreno natural.

El Mixpile® se desarrollará de acuerdo a la norma UNE-EN 14679: 2008⁽¹⁾.

3. MATERIALES Y COMPONENTES DEL SISTEMA

3.1 Terreno

Una de sus ventajas es el amplio ámbito de aplicación, tanto en función del tipo de suelo como en función del tipo de estructura.

Las columnas se pueden aplicar a una gran variedad de tipos de suelo tales como rellenos, depósitos de residuos, fangos o suelos naturales:

- Coherentes o suelos de grano fino (ML, CL, OL, MH, CH, OH):
 - Arcillas blandas
 - Fangos
 - Limos blandos
- Granulares o de grano grueso sueltos (GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC).
- Suelos con elevado contenido de materia orgánica, sulfatos o sal.

Las propiedades de resistencia del terreno natural sobre el que se realiza la mejora oscilan habitualmente entre:

q_u : 0 – 75 kPa (terrenos coherentes)

N_{SPT} : 0 – 25 (terrenos granulares)

El consumo habitual de cemento y las propiedades del terreno tratado se indican en la tabla siguiente:

Tabla 1. Consumos de cemento

Tipo de terreno	Consumo cemento (kg/m ³)	Resistencia a compresión simple (MPa)
Granular	500 – 650	8 – 15
Coherente	350 – 500	5 – 10

Entre los parámetros que distinguen el efecto de mejora de suelo los más destacados son:

- Tiempo de endurecimiento.
- Características de columnas respecto a la resistencia al corte, ductilidad, compresibilidad y capacidad portante.
- Permeabilidad.

3.2 Cemento

Se realiza una lechada de cemento con una relación agua/cemento comprendida entre 0,60 a 0,75 en peso. La relación agua / cemento se tiene que ajustar en función de la humedad natural del terreno.

Los cementos utilizados cumplirán con el Real Decreto 256/2016, de 10 de junio, por el que se aprueba la Instrucción para la recepción de cementos (RC-16) y contarán con marcado CE según la Norma UNE-EN 197-1:2011⁽²⁾.

Según la tabla A.4.3.1 de la EHE, los cementos recomendados para cimentaciones de hormigón en masa son los cementos comunes con excepción del CEM II/A-Q, CEM II/B-Q, CEM II/A-W, CEM II/B-W, CEM II/A-T y CEM II/B-T.

Cuando corresponda, es necesario cumplir las prescripciones relativas al empleo de la característica adicional de resistencia al agua de mar (MR) o a sulfatos (SR). En este último caso los cementos deberán poseer la característica adicional de resistencia a sulfatos, especificada en UNE 80303-1:2013⁽³⁾, siempre que el contenido de sulfatos, expresado como SO₃, sea igual o mayor que 600 mg/L en el caso de aguas, o 3000 mg/kg en el caso de suelos.

Hay que tener en cuenta, que la resistencia al corte del suelo mejorado puede variar en función del tipo de cemento, por lo que se recomienda usar un solo tipo para un mismo proyecto.

El tipo de cemento se elegirá en base a los resultados del Estudio Geotécnico y las condiciones de agresividad del terreno.

3.3 Aditivos

Para conseguir la homogeneización de la mezcla suelo-cemento, se le pueden añadir determinados aditivos fluidificantes. Con ello se consigue reducir la cantidad de agua de amasado, alargar el estado de fluidez, disminuir la retracción, aumentar la resistencia y durabilidad y mejora el bombeo y la penetración en pequeños huecos.

Los aditivos se emplearán siguiendo la forma de aplicación y dosificación indicada por el fabricante, siendo habitual una cantidad del 0,5-1% en peso del cemento.

Deben cumplir las prescripciones marcadas por la «Instrucción de Hormigón Estructural» (EHE) y

⁽²⁾ UNE-EN 197-1:2011. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.

⁽³⁾ UNE 80303-1:2013. Cementos con características adicionales. Parte 1: Cementos resistentes a los sulfatos.

⁽¹⁾ UNE-EN 14679:2008. Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Mezclado profundo.

estar en posesión del marcado CE según la norma UNE-EN 934-2:2010+A1:2012⁽⁴⁾.

3.4 Agua

El agua utilizada deberá cumplir las prescripciones fijadas en la EHE.

4. PUESTA EN OBRA

Antes de la ejecución de los trabajos, debe definirse la situación de las líneas de la malla principal para el replanteo, que se obtiene de los datos siguientes:

- Las condiciones de las estructuras, carreteras, servicios, etc. adyacentes a la obra.
- La geometría del emplazamiento.
- Las estructuras subterráneas existentes, canalizaciones de servicios, contaminación y limitaciones de infraestructuras urbanas o arqueológicas conocidas.
- La distribución y entidad de las solicitaciones de las edificaciones, contenciones y otros elementos constructivos a soportar.

Además, según proceda, se deberá saber también:

- Restricciones ambientales.
- Las actividades de construcción en ejecución o futuras.
- La experiencia previa en obras adyacentes al emplazamiento.
- La contaminación subterránea o riesgos que puedan afectar al método de ejecución, la seguridad del trabajo o la eliminación del material de excavación del emplazamiento.

La ejecución se realizará según lo prescrito en la norma UNE-EN 14679:2008⁽⁵⁾.

La preparación del emplazamiento debe llevarse a cabo de acuerdo con las especificaciones de diseño y las condiciones ambientales específicas.

Esta debe incluir accesos adecuados para la entrada y desplazamiento de la maquinaria y colocación de los elementos auxiliares, tales como los útiles de mezclado de la lechada, los acopios de material necesarios, etc., excavación, limpieza y nivelación de la plataforma de trabajo que garantice la suficiente capacidad portante para los equipos, recepción, control de calidad y almacenaje del material.

El equipo y los útiles de mezclado deben ser compatibles con el procedimiento de ejecución, la profundidad del suelo a tratar y las tolerancias de ejecución especificadas en el diseño.

⁽⁴⁾ UNE-EN 934-2:2010+A1:2012. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

⁽⁵⁾ UNE-EN 14679:2008. Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Mezclado profundo.

La velocidad de rotación del útil de mezclado del equipo y su ritmo de penetración y extracción se debe ajustar para producir un suelo tratado lo suficientemente homogéneo.

Debe suministrarse la lechada durante el mezclado bombeando un flujo continuo en el suelo a tratar.

El proceso se puede interrumpir con la condición de que la lechada no haya empezado a fraguar y que el útil de mezclado empiece a trabajar 0,5 m por debajo del suelo ya tratado.

Cuando se utilicen columnas de Mixpile® como elementos de contención, con objeto de transmitir empujes horizontales al terreno adyacente, se deben instalar refuerzos estructurales en las columnas mientras permanezcan frescas, consistentes en el hincado de perfiles de acero, con una longitud de empotramiento en función de las solicitaciones del proyecto. En este caso, el cemento tiene que cumplir las condiciones de agresividad del hormigón armado.

La ejecución de los pilotes Mixpile® se realiza in situ. El proceso de ejecución es el siguiente:

- 1º Posicionamiento correcto del útil de mezclado.
- 2º La tubería del útil de mezclado penetra hasta la profundidad de tratamiento deseada, con la disgregación simultánea del suelo.
- 3º Tras alcanzar la profundidad deseada, la tubería se levanta y, al mismo tiempo, se inyecta la lechada de cemento en el suelo.
- 4º El útil de mezclado rota en un plano horizontal y mezcla el suelo con la lechada.
- 5º Columna terminada.

Véase la figura 4.

La maquinaria utilizada consiste en un equipo de pilotaje CF-3, E300 o equivalente accionado por motor Diesel y un equipo de inyección de lechada o mortero.

Las condiciones típicas de mezclado se muestran a continuación.

Tabla 2. Detalles de ejecución de una columna Mixpile®

Equipo de mezclado	Nº. de tuberías	1
	Diámetro útiles mezclado	0,45 a 0,9 m
	Posición de la salida de la lechada	Barra de perforación
	Presión de inyección	200 a 1000 kPa
Planta dosificadora	Cantidad de lechada almacenada	0,250 m ³
	Capacidad de suministro	3 m ³ /hora

Como referencia, para una columna de Mixpile® de 450 mm de diámetro, tenemos los siguientes valores:

Tabla 3. Parámetros de ejecución de una columna Mixpile®

Velocidad de penetración	0,5 a 1,5 m/min
Velocidad extracción	3 a 5 m/min
Velocidad de rotación	10-25 r/min
Cantidad de cemento	350-650 kg/ m ³
Fase de inyección	Durante la penetración y/o extracción

Todos los materiales y productos que se entreguen deben identificarse y revisarse de acuerdo con las especificaciones de proyecto.

Todas las materias primas son suministradas por empresas con certificado de Control de Producción en fábrica según la norma de producto correspondiente. Estas empresas deberán garantizar la trazabilidad de sus productos.

El IETcc dispondrá de un listado actualizado de las empresas suministradoras.

La puesta en obra del sistema debe ser realizada por el fabricante o por empresas cualificadas y especializadas, reconocidas por MIXAN MIX ANDALUCIA, S.L., bajo su control y asistencia técnica, de acuerdo con las especificaciones de este documento.

En cualquier caso, MIXAN MIX ANDALUCIA, S.L. facilita todos los datos necesarios para realizar el proyecto de refuerzo y mejora del terreno; debiendo proporcionar, si así se solicita, asistencia técnica durante las fases de proyecto y ejecución, incluyendo la resolución de los puntos singulares.

5. CONTROL DE CALIDAD

MIXAN MIX ANDALUCIA, S.L., tendrá registrados los controles y certificados que a continuación se indican para garantizar la calidad y trazabilidad de los productos. Estos estarán a disposición del IETcc.

En las especificaciones de diseño se deberá definir el alcance de los ensayos y el control.

Antes del comienzo de los trabajos, se deben establecer los procedimientos para la verificación, control y aceptación.

5.1 Controles de recepción de materias primas o componentes

• Cemento:

Se controla que el cemento tenga las características demandadas para el tipo de terreno en cuestión, en especial de si se trata de un cemento ordinario o sulforresistente. Para ello, se solicita el certificado de calidad de la materia prima.

Se comprobará el marcado CE.

El cemento debe protegerse de la humedad o del aire, que podría afectar perjudicialmente su uso y/o función.

• Aditivos:

Se controla que tenga las características de la ficha técnica. Se comprobará que dispone de marcado CE.

5.2 Control de maquinaria

Se exigirá que tenga marcado CE.

Se realizará un plan de mantenimiento y revisiones periódicas según las condiciones requeridas por el fabricante.

5.3 Mano de obra

Debe estar a cargo de la ejecución personal cualificado y con experiencia en la técnica para asegurar que la construcción cumple con el diseño y otros documentos del contrato.

Cuando se encuentren condiciones imprevistas o se disponga de nueva información, debe informarse inmediatamente de acuerdo con los procedimientos previstos

El personal será especializado y cada grupo estará formado por el maquinista y uno o dos especialistas, para ayuda del sondista y para operaciones de inyección.

5.4 Control de puesta en obra del sistema

Como se indica en las Condiciones Generales de este Documento, las obras deberán llevarse a término sometidas a la preceptiva Dirección de obra.

No obstante, el fabricante del Sistema realizará un control de la puesta en obra de acuerdo con las especificaciones técnicas contenidas en este documento.

Los documentos de control de puesta en obra son la **Ficha de control de tareas y responsables de puesta en obra** y los **Planos de replanteo de los pilotes**.

Durante la ejecución se deben controlar los siguientes parámetros:

- Fecha y hora.
- Número de referencia de la columna.
- Velocidad de penetración.
- Velocidad de rotación.
- Relación a/c.
- Cantidad de lechada por metro de profundidad.
- Cota de apoyo.

Esta información queda reflejada en la **Ficha diaria de puesta en obra**.

5.5 Control de producto terminado

En el proyecto se establecerán las especificaciones de los materiales a emplear, las

propiedades del terreno tras su mejora y las condiciones constructivas y de control.

Los criterios de aceptación, fijados en el proyecto para el método que pueda adoptarse de mejora del terreno, consistirán en unos valores mínimos de determinadas propiedades del terreno tras su mejora.

La consecución de estos valores o de valores superiores a los mínimos, tras el proceso de mejora, debe contrastarse adecuadamente según los resultados de los siguientes ensayos, que deberá realizar un laboratorio acreditado por ENAC o inscrito en el Registro General de Código Técnico de Edificación para la realización de dichos ensayos (RD 410/2010):

5.5.1 Ensayos sobre la mezcla de suelo/cemento

El número mínimo de lotes vendrá dado, según la tabla 86.5.4.1 de la EHE.

Cada lote estará compuesto por:

6 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm

- 2 probetas para rotura a 7 días.
- 2 probetas para rotura a 28 días.
- 2 probetas de reserva.

Si la lechada contiene aditivos aceleradores o retardadores de fraguado o el terreno es orgánico, el período puede modificarse de acuerdo con las especificaciones del aditivo empleado o las características particulares del terreno orgánico, en su caso.

La rotura a compresión de las probetas debe ser superior a 5 MPa, a 28 días. Aplicando un coeficiente de seguridad de 6 se calculará el tope estructural de la columna según el apartado 5.3.8.1 del DB-SE-C del CTE.

5.5.2 Ensayos in situ sobre las columnas de suelo mejorado con cemento

Habitualmente se realizan los ensayos de Placa de carga sobre los pilotes Mixpile® que se estimen oportunos.

Se realiza sobre las columnas un ensayo de placa de carga. Con este ensayo, se comprueban los siguientes valores:

- Asiento (igual o inferior al proyectado).
- K_{30} (igual o superior al proyectado).

El número mínimo de ensayos de placa de carga sobre las columnas será de, al menos, 1 por cada 500 m de Mixpile®.

Sin embargo, por debajo de esta medición, se puede estudiar la recomendación de la ejecución de dicha prueba en función del tipo de edificación, del terreno de apoyo y de las condiciones de accesibilidad del solar, considerando, en este caso unos valores de resistencia más conservadores.

El ensayo se realiza de acuerdo con la norma UNE 103808:2006⁽⁶⁾.

Los ensayos a realizar para cada proyecto concreto quedarán establecidos en la **Memoria de cálculo** correspondiente elaborada por MIXAN MIX ANDALUCIA, S.L.

6. MEMORIA DE CÁLCULO

La elección de este sistema para el refuerzo o mejora del terreno habrá sido determinada tras la realización de un estudio geotécnico que determine las condiciones iniciales de dicho terreno.

Dicho informe geotécnico se realizará según lo indicado en el capítulo 3 del DB-SE-C del CTE, debiendo aportar, al menos, los valores de los siguientes parámetros:

- Estratigrafía del terreno y profundidad de las aguas freáticas y, en su caso, las oscilaciones de las mismas.
- Valores de SPT, en el caso de realizar este ensayo "in situ" en un sondeo.
- Ensayos de penetración dinámica, en su caso.
- Clasificación del suelo.
- Distribución granulométrica.
- Límites de plasticidad e Índice de plasticidad.
- Peso específico seco y natural.
- Parámetros esenciales para determinar la resistencia de cada unidad geotécnica, tales como densidad, ángulo de rozamiento interno, cohesión efectiva, y los de deformabilidad, expansividad y colapso, en su caso.
- Parámetros de agresividad de agua y terreno.
- Contenido de materia orgánica, pH, contenido de sal y sulfatos.

La identificación y la clasificación del suelo debe cumplir las normas UNE-EN ISO 14688-1:2003⁽⁷⁾ y UNE-EN ISO 14688-2:2006⁽⁸⁾.

Además, el informe debe contener la siguiente información con respecto a las condiciones del terreno en el que se van a ejecutar los pilotes Mixpile®:

- La composición, extensión lateral, espesor y resistencia del estrato superficial, raíces de árboles, rellenos,...
- La presencia de cantos o bloques, capas cementadas o rocas subyacentes que puedan causar dificultades en la ejecución.

⁽⁶⁾ UNE 103808:2006. Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática.

⁽⁷⁾ UNE-EN ISO 14688-1:2003/A1:2014. Ingeniería geotécnica. Identificación y clasificación de suelos. Parte 1: Identificación y descripción. Modificación 1. (ISO 14688-1:2002/Amd 1:2013).

⁽⁸⁾ UNE-EN ISO 14688-2:2006/A1:2014. Ingeniería geotécnica. Identificación y clasificación de suelos. Parte 2: Principios de clasificación. Modificación 1. (ISO 14688-2:2004/Amd 1:2013).

- Presencia de suelo expansivo.
- Cavidades, huecos o fisuras.
- Los niveles piezométricos del agua subterránea.

Como condiciones previas es necesario, además del estudio geotécnico, las solicitaciones transmitidas por la cimentación, así como la distribución en planta de los distintos elementos constructivos tales como pilares, ascensores, aljibes, patios y demás elementos estructurales a tener en cuenta a la hora de diseñar distribución de la malla de columnas suelo-cemento.

En función de la distribución, entidad y posición de las cargas se pueden hacer diversos diseños de reparto, ya que la distancia entre columnas condiciona la interacción de los pilotes Mixpile®. El terreno resultante se puede considerar como un suelo homogéneo con unas características intermedias entre las del suelo natural y las columnas de Mixpile®.

Alternativa e indistintamente se pueden utilizar los siguientes métodos de cálculo:

6.1 Método 1

Este método considera las columnas como una zona pilotada, asimilando su cálculo por tanto, al de un pilote corto de baja capacidad portante, tal y como se expone a continuación:

La resistencia característica al hundimiento de un pilote se considerará dividida en dos partes: resistencia por punta y resistencia por fuste:

$$R_{ck} = R_{pk} + R_{fk}$$

Donde:

R_{ck}	Resistencia frente a la carga vertical que produce el hundimiento.
R_{pk}	La parte de la resistencia que se supone soportada por la punta.
R_{fk}	La parte de la resistencia que se supone soportada por el contacto columna-terreno en el fuste.

La resistencia de cálculo de un pilote, R_{cd} , se obtiene a partir de la resistencia característica al hundimiento, R_{ck} , aplicando los coeficientes parciales de seguridad contenidos en la tabla 2.1 del CTE DB-SE-C.

La zona de influencia de la punta se puede dividir en:

- Zona pasiva: 6D por encima de la cota de apoyo.
- Zona activa : 3D por debajo de la cota de apoyo.

El cálculo se realizará según lo indicado en el anejo F.2 del DB-SE-C.

La elección del número de pilotes o unidades Mixpile® se hará en función de las cargas totales

del edificio a soportar, que serán iguales a las transmitidas por el edificio más el peso de la losa de cimentación y de las condiciones de proximidad de las columnas, ya que habrá que tener en cuenta la interacción entre las columnas, según el artículo 5.3.4.1.4 del CTE DB SE-C de consideración del efecto de grupo, y aplicando un coeficiente de eficiencia que tendrá un valor de 0,7 si las columnas se encuentran tangentes (separación entre ejes de 1 Diámetro) y un valor de 1 si la separación entre ejes es de 3 Diámetros. Para situaciones intermedias se interpola.

De esta forma:

$$N = \frac{C_{total}}{R_{cd} \cdot \eta}$$

Siendo:

N	Nº. de unidades de pilotes Mixpile®
C_{total} (kN)	Carga total.
R_{cd} (kN)	Resistencia cálculo frente al hundimiento de un pilote de Mixpile®.
η	Coeficiente de eficiencia.

Sin embargo, existen multitud de situaciones en las que, si bien este criterio queda del lado de la seguridad, resulta sobredimensionado y podría optimizarse el diseño tratando los Mixpile® como un caso particular de inclusiones rígidas y considerando la aportación del terreno.

Para poder optimizar el diseño de la mejora de terreno resulta imprescindible el empleo de una plataforma de transferencia de carga (LPT), ya que la distribución de carga entre los Mixpile® y el terreno natural dependerá del espesor y naturaleza de la misma, así como del elemento situado sobre este.

A continuación se describen los mecanismos de funcionamiento según se trate de un terraplén o de una losa de cimentación o zapatas.

- Cono de cizallamiento

Para el caso de un terraplén, la transferencia de carga se realiza a través de un cono de cizallamiento que parte de la cabeza del Mixpile® y forma un ángulo respecto de la vertical igual al ángulo de rozamiento del material que compone la plataforma de transferencia.

Se define un espesor mínimo, H_c , del colchón de reparto de manera que se produzca dentro del mismo la igualdad de asientos.

Dicho espesor depende tanto de la separación entre los Mixpile® como de las características mecánicas de la plataforma de transferencia de carga.

$$H_c = \frac{R - r_p}{\tan(\phi')}$$

Si $H_M < H_C$

$$q_p^+ = \frac{H_M}{3} \left(\frac{R_c^2}{r_p^2} + 1 + \frac{R_c}{r_p} \right) \gamma + q_o \frac{R_c^2}{r_p^2}$$

$$R_c = H_M \cdot \tan(\varphi') + r_p$$

Si $H_M > H_C$

$$q_p^+ = \left[\frac{H_C}{3} \left(\frac{R_c^2}{r_p^2} + 1 + \frac{R}{r_p} \right) + (H_M - H_C) \frac{R^2}{r_p^2} \right] \gamma + q_o \frac{R^2}{r_p^2}$$

$$R = \frac{s}{\sqrt{\pi}}$$

Véase figura 5.

Siendo:

R_c	Radio del cono
r_p	Radio del Mixpile®
s	Separación entre ejes de Mixpile®
H_C	Espesor mínimo del colchón de reparto para el solape de conos
H_M	Espesor del colchón de reparto
φ'	Ángulo rozamiento interno del colchón de reparto
γ	Peso específico del colchón de reparto
q_o	Tensión transmitida
q_p^+	Tensión en la cabeza del Mixpile®
q_s^+	Tensión residual en el terreno

Para $H_M > H_C$, los conos de corte de las inclusiones adyacentes se solapan y el área de influencia del Mixpile® sigue siendo igual a s^2 .

El mecanismo de fallo del cono de cizallamiento se produce en aquellas plataformas de transferencia de carga que no están cubiertas por ningún elemento estructural rígido. Es el caso, por ejemplo, de un terraplén de carretera.

- Mecanismo de Prandtl

Cuando el colchón de reparto se encuentra cubierto por un elemento estructural rígido, es la propia losa o cimentación superficial la que, a través de su rigidez, tiende a uniformar los asientos, a la vez que provoca una transferencia de carga significativa hacia las columnas.

Las ecuaciones que expresan la conservación de la fuerza y el equilibrio local de acuerdo al diagrama de Prandtl son:

$$q_p^+ \cdot \rho + (1 - \rho) \cdot q_s^+ = (q_o^+ + H_M \gamma)$$

siendo: $\rho = \frac{A_{col}}{A_{total}}$

Véase figura 6.

La tensión límite en la cabeza del Mixpile®, q_p^+ , puede determinarse a partir de la tensión aplicada en el suelo, q_s^+ , el conjunto de parámetros

intrínsecos de la plataforma de transferencia de carga y la siguiente fórmula:

$$q_p^+ = N_q q_s^+$$

$$N_q = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) \cdot e^{\pi \tan(\varphi')}$$

La tensión límite q_p^+ , así como la tensión residual q_s^+ que llega al terreno intermedio sin mejora deben cumplir las siguientes condiciones:

$$q_p^+ \cdot A \leq R_{cd}$$

$$q_s^+ \leq \sigma_{adm, terreno sin mejora}$$

En cuanto a los asientos, pueden formularse así según el anejo F.2.6 del C.T.E (DB SE-C):

$$S = \left(\frac{D}{40 \cdot R_{ck}} + \frac{l_1 + \alpha l_2}{AE} \right) P$$

Donde:

S (m)	Asiento.
E (kPa)	Módulo de elasticidad del material del pilote Mixpile®, oscila entre 8 y 10 MPa.
D (m)	Diámetro (m) del pilote de Mixpile®.
R_{ck} (kN)	Resistencia característica frente al hundimiento.
l_1 (m)	Longitud del pilote Mixpile® fuera del terreno, esta longitud es 0.
l_2 (m)	Longitud del pilote Mixpile® dentro del terreno.
A (m ²)	Área del pilote Mixpile®.
P (kN)	Carga sobre la cabeza del pilote Mixpile®.
α	Parámetro variable según el tipo de transmisión de cargas al terreno, siendo $\alpha = 1$ para pilotes que trabajan principalmente por punta y $\alpha = 0,5$ para pilotes flotantes. En otros casos:

$$\alpha = \frac{1}{R_{ck}} (0,5 R_{fk} + R_{pk})$$

donde R_{ck} , R_{fk} y R_{pk} están definidos anteriormente.

Habrà que considerar el llamado efecto grupo debido a la interferencia de las cargas y, en consecuencia el mayor asiento producido.

Se puede considerar en estos casos que toda la carga del grupo está uniformemente repartida a una profundidad $z = \alpha L_2$ en una superficie igual a la ocupada por el grupo.

El asiento se calcula como el de una zapata equivalente, de dimensiones B_1 y L_1 de modo que:

$$B_1 = B_{grupo} + (1 - \alpha) l_2$$

$$L_1 = L_{grupo} + (1 - \alpha) l_2$$

apoyada a la profundidad z (m) = $\alpha \cdot l_2$

siendo:

B_{grupo} la dimensión menor del grupo (m), que se puede asimilar al ancho de la losa.

L_{grupo} la dimensión mayor del grupo (m), que se puede asimilar al largo de la losa.

El asiento será la suma del asiento individual y el de grupo.

6.2 Método 2

Este método se basa en la interacción entre los pilotes y el suelo natural no mejorado en la zona de influencia de los mismos, generando un suelo equivalente homogéneo.

Las características del terreno equivalente dependen del coeficiente de tratamiento ρ , esto es, de la relación de áreas que representa el suelo mejorado respecto al área total del terreno no mejorado (Figura 4):

$$\rho = \frac{A_{\text{col}}}{A_{\text{total}}}$$

Los parámetros geomecánicos más importantes del diseño son la resistencia al corte sin drenaje y el módulo de deformación del suelo natural y de las columnas. La resistencia al corte sin drenaje se obtiene:

$$c_{u,\text{equi}} = c_{u,\text{suelo}}(1 - \rho) + c_{u,\text{mixpile}}\rho$$

Donde:

$c_{u,\text{equi}}$ Resistencia al corte sin drenaje del suelo equivalente.

$c_{u,\text{suelo}}$ Resistencia al corte sin drenaje del suelo natural, obtenido del Estudio geotécnico.

$c_{u,\text{mixpile}}$ Resistencia a corte-sin drenaje del pilote Mixpile®. Se puede obtener a partir de los valores de resistencia a compresión simple mediante la siguiente expresión:

$$c_{u,\text{mixpile}} = \frac{q_{u,\text{mixpile}}}{2}$$

Sin embargo, Broms⁽⁹⁾ afirma que este valor puede ser muy alto cuando el suelo estabilizado no está completamente saturado. Se establece, por tanto, un coeficiente adicional de 1,9, quedando esta última ecuación:

$$c_{u,\text{mixpile}} = \frac{q_{u,\text{mixpile}}}{2 \cdot 1,9}$$

(A modo orientativo, véanse los valores del apartado 3.1).

⁽⁹⁾ B.B. Broms, Ground Improvement 2º ed. (2004), Spon Press NY (Pg. 254).

Donde:

$q_{u,\text{mixpile}}$ Resistencia a compresión simple de la columna de Mixpile®

El módulo de deformación del suelo equivalente se obtiene con la siguiente expresión:

$$E_{\text{equi}} = E_{\text{suelo}}(1 - \rho) + E_{\text{mixpile}} / \beta \cdot \rho$$

Donde:

E_{equi} Módulo de deformación del suelo equivalente.

E_{suelo} Módulo de deformación del suelo natural, obtenido de Estudio Geotécnico o por correlaciones en la tabla D.23 del CTE DB-SE-C.

E_{mixpile} Módulo de deformación del pilote Mixpile®. Fliz y Navin (2006) aconsejan la correlación $E = 300 \cdot q_u$, pero puede variar entre $150 \sim 1000 \cdot q_u$.

β : Coeficiente de corrección. Debido al diferencial de deslizamiento en la interfaz suelo/inclusión, se requiere la introducción de un coeficiente de corrección que se establece en $\beta = 3$ ⁽¹⁰⁾.

El asiento vendrá definido por la expresión:

$$s_{\text{equi}} = \sum \frac{\Delta h \cdot q'_b}{E_{\text{equi}}}$$

Siendo:

s_{equi} (m) asiento equivalente.

q'_b (kN/m²) la presión efectiva bruta en la base de apoyo de la losa. Se puede utilizar la presión efectiva neta, q'_{neta} , a criterio del proyectista, según el artículo 4.4.2 del CTE DB-SE-C si la cimentación es parcialmente compensada.

Δh (m) la altura del estrato en que se considera el asiento.

Profundizando más en este tema, la comprobación de asientos se puede abordar también con el modelo matemático de multicapa elástica sobre base rígida.

Empleando el método aproximado de Steinbrenner, donde el asiento de cada capa viene dado por la expresión: $S_i = S_0 - S_z$, siendo S_0 y S_z el asiento a techo y muro de la capa, calculado mediante la siguiente ecuación (para el asiento medio de la losa):

$$S_z = \frac{q'_b B}{2E} (M \emptyset_1 - N \emptyset_2)$$

⁽¹⁰⁾ Según Capítulo 3, Apdo 5.1 de IREX (2012): Projet national ASIRI. Recommandations pour la conception, le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation par inclusions rigides. Presses des Ponts. France.

Donde:

- S_z Asiento a la profundidad z .
- q'_b (kN/m²) Presión efectiva bruta uniforme sobre el terreno (kN/m²). Se puede utilizar la presión efectiva neta, q'_{neta} , a criterio del proyectista, según el artículo 4.4.2 del CTE DB-SE-C si la cimentación es parcialmente compensada.
- B (m) Ancho de la losa (m).
- E (kN/m²) Módulo de deformación de cada capa.
- M $1 - \nu^2$.
- N $1 - \nu - 2\nu^2$.
- ν Coeficiente de Poisson.
- $\emptyset_1$ y $\emptyset_2$ Coeficientes de influencia en función de la forma de la placa y de la profundidad (z), obtenidos en la tabla de coeficientes correspondiente.

El asiento total (S) se obtiene sumando los asientos de cada capa. En cada estrato se emplea los valores concretos de coeficiente de Poisson, profundidad, módulo de deformación.

La carga de hundimiento para el caso de los terrenos coherentes se calculará mediante la expresión 4.8 del CTE DB-SE-C en el apartado 4.3.2.1.

Habitualmente el cálculo se realiza en situación de corto plazo o sin drenaje, por tanto la expresión se transforma y se reduce a:

$$q_h = c_{u,equi}, N_c d_c s_c i_c t_c + q'_{ok} N_q d_q s_q i_q t_q$$

$c_{u,equi}$ = Resistencia al corte sin drenaje del suelo equivalente.

Coeficientes de capacidad de carga:

$$N_c = 5,14$$

$$N_q = 1$$

Coeficientes correctores de influencia de la profundidad:

q_{ok} = sobrecarga de tierras a la profundidad de la cimentación.

$$d_c = 1 + 0,34 (\arctan D/B^*)$$

$$d_q = 1$$

Coeficientes correctores de influencia de la forma:

$$s_c = 1 + 0,2 B^*/L^*$$

$$s_q = 1$$

Además, los coeficientes de influencia de inclinación de la carga o de proximidad a un talud, se encuentran en el apartado F.1.1.1 del CTE DB-SE-C.

i_c, i_q, i_γ = coeficientes de inclinación de carga.

t_c, t_q, t_γ = coeficientes de proximidad a un talud.

Hay que indicar que, en el caso de los terrenos granulares, la presión admisible suele estar

limitada por los asientos por lo que para calcularla se empleará la siguiente fórmula indicada en el anexo E.5 del CTE DB-SE Cimientos:

$$K_s = \frac{q}{s}$$

Donde:

- q Presión (kN/m²).
- s Asiento producido (m).

De la cual se deduce lo siguiente:

$$K_s \text{ (kN / m}^3\text{)} = N \cdot f \cdot q_{adm} \text{ (kPa)}$$

Donde:

- f Factor de seguridad empleado para minorar la presión .
- N Factor que depende del asiento máximo admisible. ($N = 1/s$ (m).
- K_s Módulo de balasto, para una cimentación de ancho b .
- q_{adm} Presión admisible.

Hallamos K_s , según las fórmulas de Terzaghi:

Para terreno Granular

$$K_s = K_{30} \cdot \left(\frac{b + 0,3}{2b} \right)^2 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Siendo b el lado menor de la losa.

El K_{30} , módulo de balasto para una placa de ancho 30 cm, en el caso de tener una mezcla de suelos será el siguiente:

$$K_{30,equi} = K_{30,suelo} (1 - \rho) + K_{30,mixpile} \rho$$

Por lo que la presión admisible será:

$$q_{adm} = \frac{K_s \cdot s}{f} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

7. REFERENCIAS DE UTILIZACIÓN

La empresa MIXAN MIX ANDALUCIA S.L., lleva trabajando desde el 2001. El fabricante aporta como referencia las siguientes obras.

- 128 viviendas en C/ Querol, Melilla. 7829 m. Año 2009
- Concesionario Mercedes en Málaga. 3402 m. Año 2009
- Teatro Kursaal de Melilla. 3042 m. Año 2009
- Centro socio-cultural en Pontevedra. 1198 m. Año 2010
- 117 viviendas en Jerez de la Frontera (Cádiz). 3696 m. Año 2011
- Estación de servicio en Telde (Las Palmas) 1638 m. Año 2014

- Centro deportivo en Jaén. 2418 m. Año 2014
- Graderío del Estadio Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria. 1656 m. Año 2015
- Noria en puerto de Málaga. 576 m. Año 2015
- Nave industrial en Alcantarilla (Murcia). 4875 m. Año 2016
- 50 viviendas Urb. La Noria, Mijas (Málaga). 3458,50 m. Año 2016
- EDAR El Bobar, Almería. 814 m. Año 2017
- Fábrica Cervezas Victoria, Málaga. 1207,50 m. Año 2017
- Campo de fútbol en Almogía (Málaga). 2182 m. Año 2017

El IETcc ha realizado diversas visitas a obras verificando que la puesta en obra es conforme a lo especificado en este documento.

8. ENSAYOS

8.1 Ensayos de identificación de los materiales

Las empresas suministradoras de los materiales o componentes aportaron, mediante certificación, los valores característicos de los mismos.

8.2 Ensayos de aptitud de empleo

8.2.1 Ensayos de comportamiento mecánico

Estos ensayos se han realizado en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc). La descripción detallada y resultados de los mismos se reflejan en el informe 19 313-01.

Se extraen doce probetas de terreno mejorado en dos tipos de suelo distintos, las primeras correspondientes a la obra del centro sociocultural de Cangas (Pontevedra) y las segundas de una obra de una nave polivalente en el Polígono Industrial Casabermeja (Málaga).

El suelo de partida de la obra de Cangas se trata de un terreno granular y el suelo de partida de la obra en P.I. Casabermeja es un terreno coherente.

Las probetas son cilíndricas de 15 x 30 cm refrentadas con mortero de azufre. Tres probetas son ensayadas a 7 días en obra. Tres probetas son ensayadas a 60 días en el IETcc.

Seis probetas de las doce de cada obra se entierran en contenedores y se exponen a raíces en unas condiciones específicas según norma UNE-EN 13948:2008⁽¹¹⁾ y se ensayan a 90 y a 270 días.

Se realizan ensayos a compresión. Se exponen a continuación los resultados de los ensayos realizados en el IETcc:

⁽¹¹⁾ UNE-EN 13948:2008. Láminas flexibles para impermeabilización. Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para impermeabilización de cubiertas. Determinación de la resistencia a la penetración de raíces.

8.2.1.1 Terreno granular (Cangas)

Los ensayos realizados en el IETcc han dado los siguientes resultados:

Tabla 4. Resultados de ensayos de comportamiento mecánico a probetas de terreno granular

Id. Muestra	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
Cangas 1-1	60	223,0	12,6
Cangas 1-2	60	313,9	17,8
Cangas 1-3	60	386,3	21,9
Cangas 2-1	90	226,6	12,8
Cangas 2-2	90	167,6	9,5
Cangas 2-3	90	141,4	8,00
Cangas 3-1	270	222,4	12,6
Cangas 3-2	270	201,4	11,4
Cangas 3-3	270	257,5	14,6

8.2.1.2 Terreno coherente (Casabermeja)

Tabla 5. Resultados de ensayos de comportamiento mecánico a probetas de terreno coherente

Id. Muestra	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
Casabermeja 1-1	60	297,1	16,8
Casabermeja 1-2	60	286,7	16,2
Casabermeja 1-3	60	215,6	12,2
Casabermeja 2-1	90	301,5	17,1
Casabermeja 2-2	90	328,9	18,6
Casabermeja 2-3	90	417,1	23,6
Casabermeja 3-1	270	282,6	16,0
Casabermeja 3-2	270	302,3	17,1
Casabermeja 3-3	270	187,1	10,6

8.2.2 Prueba de carga con placa

Este ensayo ha sido realizado por el laboratorio ENYPSA en junio de 2011. El método de ensayo y resultados del mismo se describen en el informe 9181/1/3 de dicho laboratorio.

Este ensayo está realizado conforme a la norma NLT-357/98⁽¹²⁾.

Previo nivelado de las desigualdades del terreno en la zona donde se realiza la placa, mediante la extensión de una capa de arena seca de granulometría media, se sometió al terreno a sucesivas cargas a fin de medir los asentamientos producidos por las mismas mediante una placa circular de diámetro 30 cm con un gato hidráulico.

Los asentamientos se han medido utilizando 3 comparadores con apreciación de 0,01 mm, colocados sobre la placa formando triángulo equilátero. El asentamiento en cada escalón, es la media aritmética de los tres comparadores.

⁽¹²⁾ NLT 357: Ensayo de carga con placa.

Módulo de compresibilidad

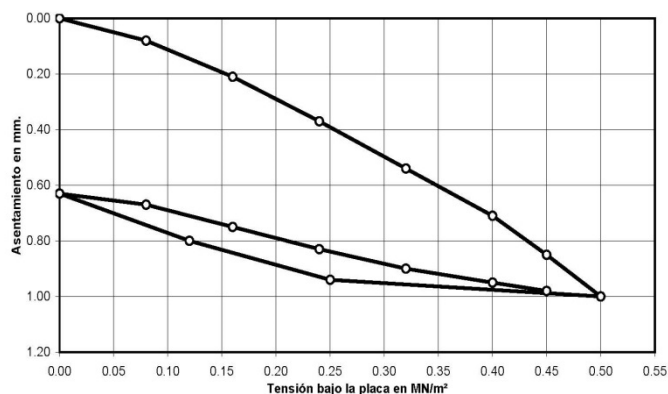
El Módulo de Compresibilidad E en cada ciclo se ha determinado entre las presiones $0,3 \sigma_{\text{máx}}$ y $0,7 \sigma_{\text{máx}}$.

Ciclo 1 $E_1 = 109,8 \text{ MN/m}^2$.

Ciclo 2 $E_2 = 250,0 \text{ MN/m}^2$.

Relación de módulos: $E_1/E_2 = 2,28$.

Diagrama carga-asiento:



9. EVALUACIÓN DE LA APTITUD DE EMPLEO

El Sistema, tal y como se describe en este Documento, es apto para el fin de refuerzo y mejora de terrenos al que se destina.

9.1 Cumplimiento de la normativa nacional

9.1.1 SE - Seguridad estructural

La presente evaluación técnica y los ensayos realizados, han permitido comprobar que el modelo de cálculo propuesto es coherente con el comportamiento del Sistema.

Antes de decidir o implementar cualquier tipo de mejora o refuerzo del terreno deben establecerse adecuadamente las condiciones iniciales del terreno mediante el oportuno estudio geotécnico (DB-SE-C).

Será necesario un proyecto en el cual se establecerán las especificaciones de los materiales a emplear, las propiedades del terreno tras su mejora y las condiciones constructivas y de control.

Los criterios de aceptación, fijados en el proyecto para el método de cálculo que pueda adoptarse de mejora del terreno, consistirán en unos valores mínimos de determinadas propiedades del terreno tras su mejora. La consecución de estos valores o de valores superiores a los mínimos, tras el proceso de mejora, debe ser adecuadamente contrastada.

9.1.2 SI - Seguridad en caso de incendio

No procede.

9.1.3 SUA - Seguridad de utilización y accesibilidad

No procede.

9.1.4 HS - Salubridad

Los componentes del Sistema, una vez instalado, según declara el fabricante del mismo, no contienen ni liberan sustancias peligrosas de acuerdo a la legislación nacional y europea.

9.1.5 HR - Protección frente al ruido

No procede.

9.1.6 HE - Ahorro de energía

No procede.

9.2 Utilización del producto. Puesta en obra y limitaciones de uso

9.2.1 Puesta en obra

Se deberá tener en cuenta el informe geotécnico las condiciones de las construcciones, carreteras, servicios, etc., adyacentes a la obra, las estructuras y canalizaciones de servicios subterráneas existentes, y limitaciones de infraestructuras urbanas o arqueológicas conocidas.

Asimismo se deberá tener en cuenta la contaminación subterránea o riesgos que puedan afectar al método de ejecución, la seguridad del trabajo o la eliminación del material de excavación del emplazamiento.

Se aconseja estudiar en cada caso la colocación de un colchón de grava o zahorra compactada en función de la separación entre pilares, espesor de la losa, la separación entre columnas de Mixpile® y tipo de terreno para conseguir una mayor uniformidad en la transmisión de cargas.

9.2.2 Limitaciones de uso

La presente evaluación técnica cubre únicamente las aplicaciones del sistema recogidas en este documento en el apartado 1.

9.3 Gestión de residuos

Se seguirán las especificaciones del Real Decreto 105/2008 por el que se regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición, así como las reglamentaciones autonómicas y locales que sean de aplicación.

10. CONCLUSIONES

Considerando que MIXAN MIX ANDALUCIA S.L. realiza un control de calidad que comprende un sistema de autocontrol por el cual el fabricante comprueba, con medios propios y por laboratorios externos acreditados, la idoneidad de las materias primas y del producto final.

Considerando que los métodos de cálculo utilizados están contrastados y el proceso de puesta en obra están suficientemente contrastados por la práctica, por los resultados obtenidos en los ensayos y por las visitas a obras realizadas.

Se estima favorablemente, con las observaciones de la Comisión de Expertos en este DIT, la idoneidad de empleo del Sistema propuesto por el peticionario.

11. OBSERVACIONES DE LA COMISIÓN DE EXPERTOS⁽¹³⁾

Las principales observaciones de la Comisión de Expertos⁽¹⁴⁾ fueron las siguientes:

⁽¹³⁾ La Comisión de Expertos de acuerdo con el Reglamento de concesión del DIT (O.M. de 23/12/1988), tiene como función, asesorar sobre el plan de ensayos y el procedimiento a seguir para la evaluación técnica propuestos por el IETcc.

Los comentarios y observaciones realizadas por los miembros de la Comisión, no suponen en sí mismos aval técnico o recomendación de uso preferente del sistema evaluado.

La responsabilidad de la Comisión de Expertos no alcanza los siguientes aspectos:

- a) Propiedad intelectual o derechos de patente del producto o sistema.
- b) Derechos de comercialización del producto o sistema.
- c) Obras ejecutadas o en ejecución en las cuales el producto o sistema se haya instalado, utilizado o mantenido, ni tampoco sobre su diseño, métodos de construcción ni capacitación de operarios intervinientes.

⁽¹⁴⁾ La Comisión de Expertos estuvo integrada por representantes de los siguientes Organismos y Entidades:

- ACCIONA INFRAESTRUCTURAS. DIR. INGENIERÍA.
- ANDIMAT (Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes).
- Avintia Grupo.
- Dragados S.A.
- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (UPM).
- Escuela Técnica Superior de Edificación (UPM).
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM).
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil (UPM).
- FCC Construcción S.A.
- FERROVIAL-AGROMAN, S.A.
- Laboratorio de Ingenieros del Ejército (INTA – MINISDEF).
- Ministerio de Fomento.
- Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM).
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc).

- Para asegurar la viabilidad del Sistema será preciso la realización de un Estudio Geotécnico para caracterizar las propiedades iniciales del terreno, para la obra concreta y de acuerdo con las indicaciones del capítulo 3 del CTE DB-SE-C. Se definirán los parámetros del sistema teniendo en cuenta los resultados obtenidos en dicho Estudio Geotécnico y las características y cargas del edificio u obra a implantar. Particularmente se tendrá en cuenta el nivel freático, especialmente cuando se prevean corrientes de agua subterránea y terrenos granulares.
- Para terrenos en los que pueda haber licuefacción y zonas de alta sismicidad se deberá realizar un estudio más específico.
- Debe verificarse que el terreno de apoyo del sistema de columnas Mixpile[®] soporta el incremento de cargas producido por el conjunto de la estructura y el propio sistema.
- Debe tenerse en cuenta al ejecutar el sistema la interrelación del proceso con las edificaciones e infraestructuras colindantes.
- La separación entre unidades Mixpile[®] debe asegurar que el terreno se comporta homogéneamente.
- La losa debe ser lo suficientemente rígida para garantizar un reparto uniforme de las cargas.
- Se recomienda que una copia del presente Documento de Idoneidad Técnica se incorpore al Libro del Edificio.

FIGURAS

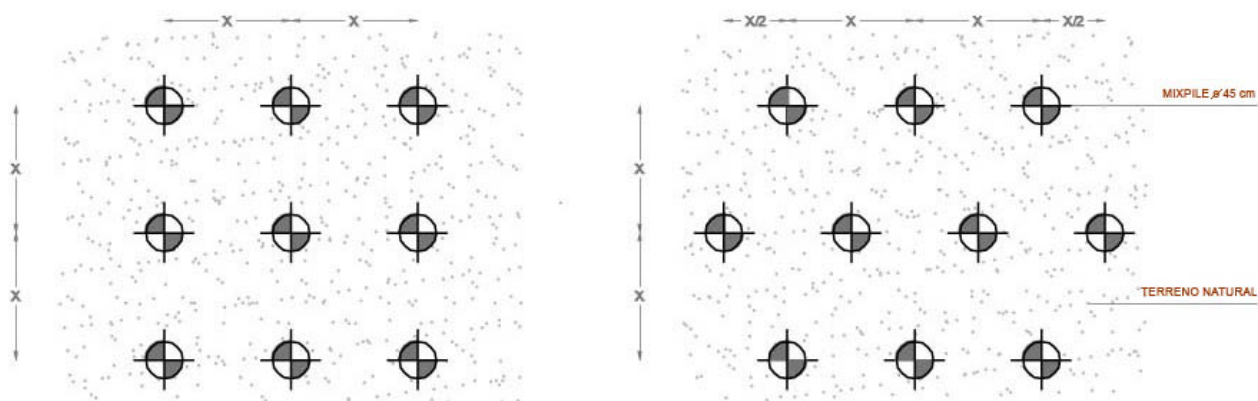


Figura 1: Distribución en malla de los pilotes Mixpile®

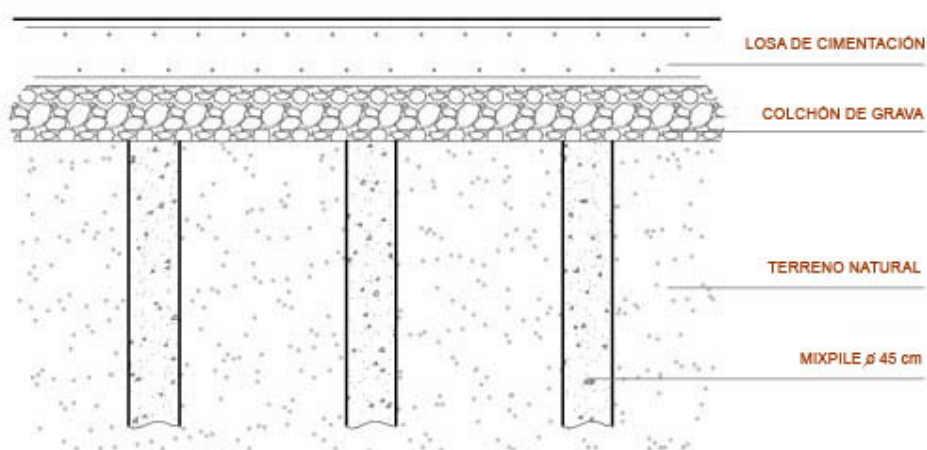
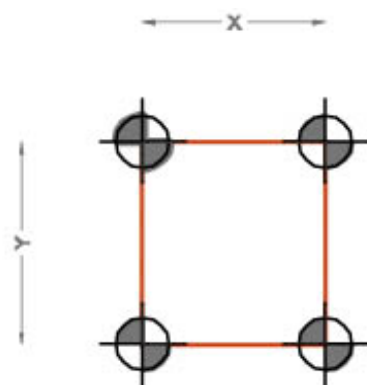


Figura 2: Losa de cimentación apoyada en pilotes Mixpile®

El colchón de grava o zahorra compactada no forma parte del sistema. Se colocará posteriormente en caso de considerarse necesario y su espesor (20 - 60 cm) será función del tipo de terreno, separación entre Mixpile®, espesor de la losa y localización de las cargas.



$$\rho = \frac{A_{col}}{A_{total}}$$

Figura 3: Parámetro ρ de relación entre áreas

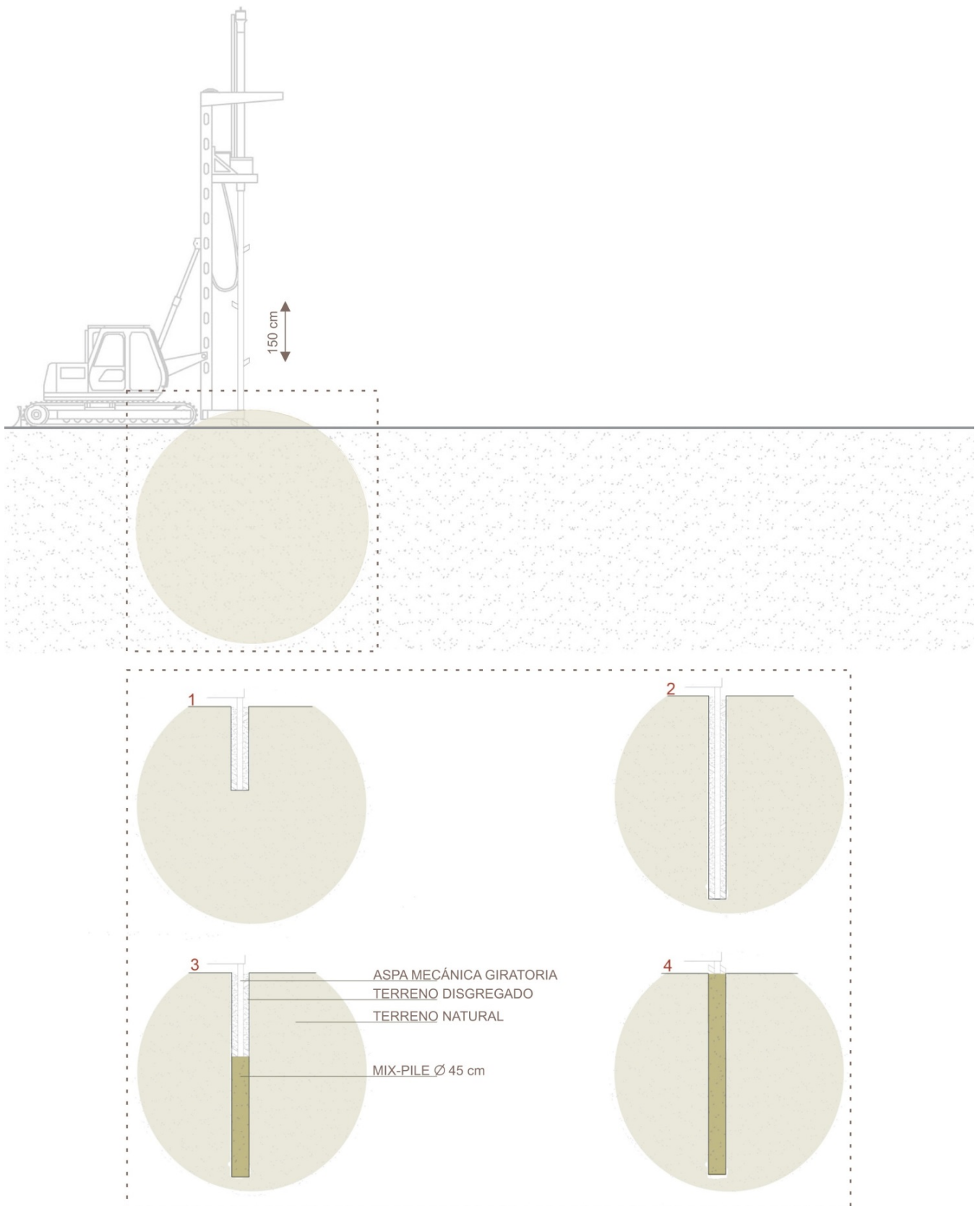


Figura 4: Proceso ejecución de pilotes Mixpile®

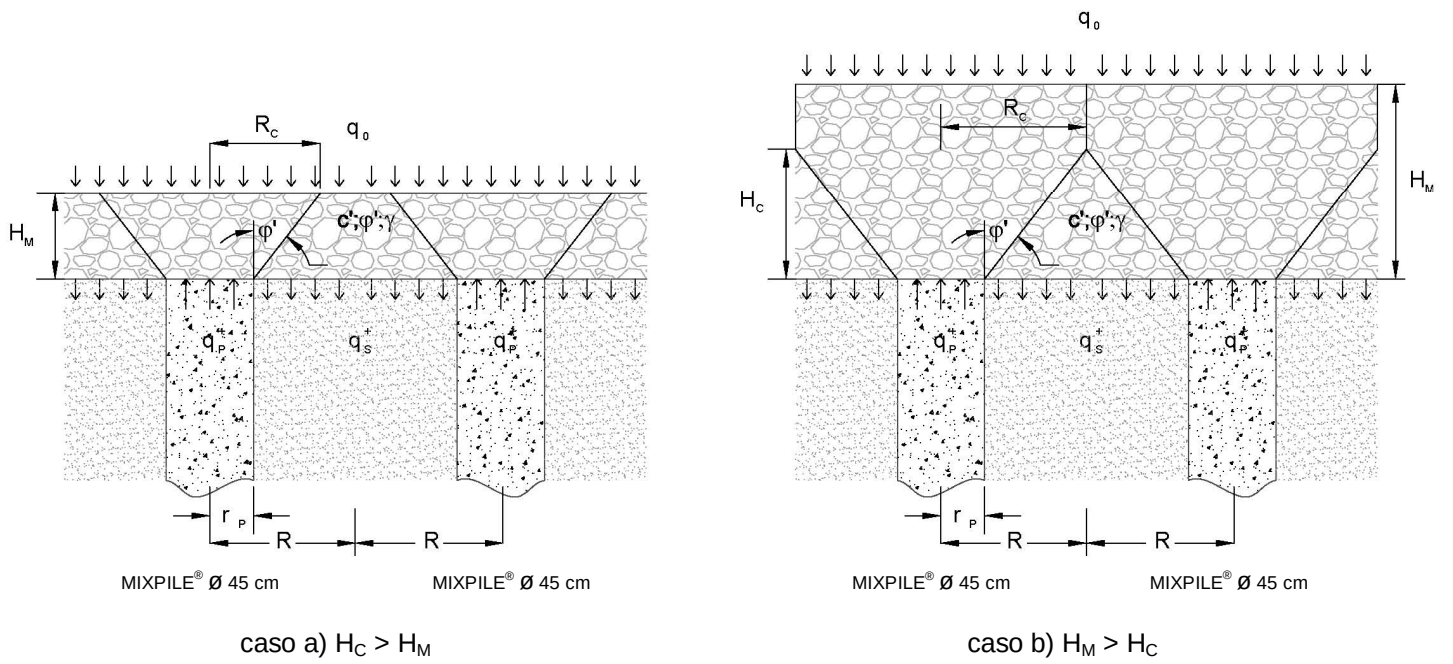


Figura 5: Diagramas de fallo según cono de corte en la plataforma de transferencia de carga

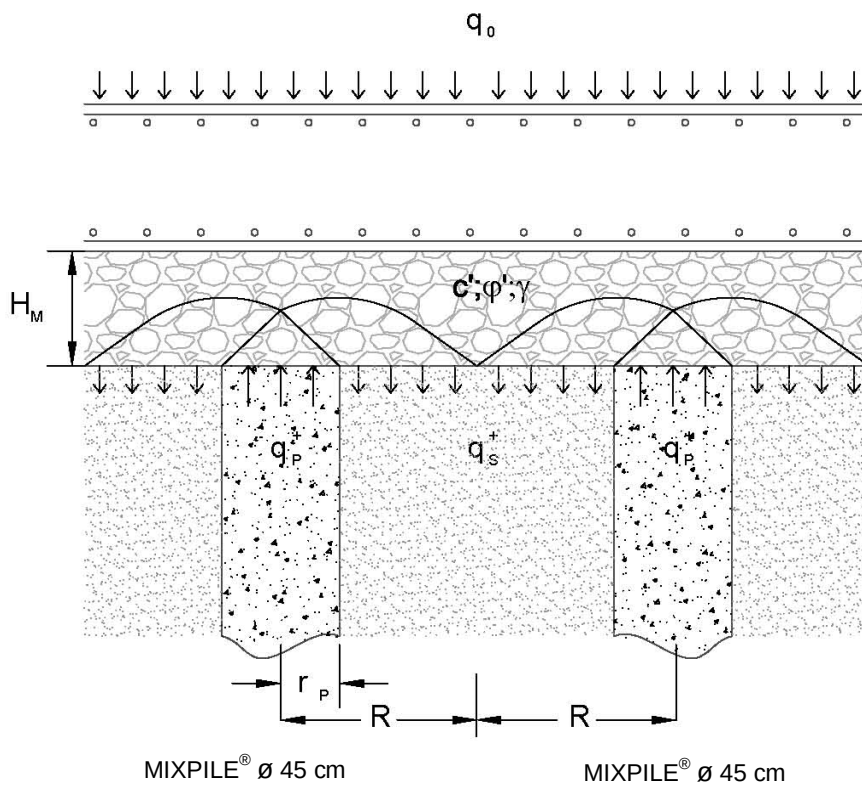


Figura 6: Diagrama de fallo según Prandtl en la plataforma de transferencia de carga