

GUÍA

*PILOTES PREFABRICADOS
HINCADOS A PRESIÓN EN
CIMENTACIÓN PROFUNDA,
CON BASE EN EL
REGLAMENTO COLOMBIANO
DE CONSTRUCCIÓN SISMO
RESISTENTE NSR-10.*

*APLICACIÓN EN PILARES DEL
MONORRIEL
AEROPUERTO EL DORADO I Y
DORADO II – BOGOTÁ*

*BOGOTÁ, D.C.
2017.*

CONTENIDO

DEFINICIONES GENERALES.....	8
1.1 CARGA PORTANTE.....	8
1.2 CIMENTACIÓN.....	8
1.3 CIMENTACIÓN PROFUNDA.....	8
1.4 ESTRUCTURA.....	8
1.5 EXCAVACIÓN.....	9
1.6 HINCADO O HINCA.....	9
1.7 HINCADORA.....	9
1.8 MONORRIEL.....	9
1.9 PILARES Y COLUMNAS.....	9
1.10 PILOTE.....	9
1.10.1 Pilotes in situ.....	10
1.10.2 Pilote in situ de desplazamiento con azuche.....	10
1.10.3 Pilote in situ de desplazamiento con tapón de gravas.....	10
1.10.4 Pilote in situ de extracción con entubación recuperable.....	10
1.10.5 Pilote in situ de extracción con camisa perdida.....	10
1.10.6 Pilote in situ perforado sin entubación con lodos tixotrópicos.....	11
1.10.7 Pilote in situ barrenado sin entubación.....	11
1.10.8 Pilote in situ barrenado y hormigonado por tubo central de barrena.....	11
1.10.9 Pilotes hincados.....	11
1.10.1 Pilotes prefabricados.....	11
1.10.2 Pilotes excéntricos.....	12
1.11 COMPRESOR.....	12
1.12 SUELO.....	12
2. PRODUCCIÓN DE LOS PILOTES.....	13
2.1 MATERIALES.....	13
2.1.1 Lista General de Materiales y procedimientos.....	13
2.1.1.1 Cemento.....	13
2.1.1.2 Agregados.....	13
2.1.1.3 Agua.....	15
2.1.1.4 Acero de Refuerzo.....	17
2.1.1.4 Aditivos.....	17
2.1.2 Diseño de mezcla.....	17
2.1.3 Proceso para el diseño de mezclas de concreto.....	18
2.1.3.1 Estudio de las especificaciones de la obra.....	19
2.1.3.2 Definición de la resistencia Compresión/flexión.....	19
2.1.3.3 Elección del asentamiento.....	19
2.1.3.4 Determinar tamaño máximo y tamaño máximo nominal (TM – TMN).....	19

2.1.3.5 Estimación cantidad de aire.	19
2.2 CONDICIONES DE LOS MATERIALES.	19
2.2.1 Agregados	19
2.2.1.1. Gravas.	19
2.2.1.2. Arenas.	20
3. LOGÍSTICA.	21
3.1 TRANSPORTE DE LOS PILOTES.	21
3.1.1 Carga y manejo de los pilotes.	21
3.1.3 Plan de Manejo de Tránsito (PMT).	21
3.1.4 Descarga de los pilotes en Obra.....	22
3.2 ALMACENAMIENTO DE LOS PILOTES.	22
4. SUELOS.	23
4.1 ANÁLISIS GENERAL SUELOS.	23
4.2 ZONIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE BOGOTÁ.	23
4.3 ZONIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE LA LÍNEA DEL MONORRIEL DEL AEROPUERTO EL DORADO I Y EL DORADO II HASTA EL CENTRO INTERNACIONAL DE BOGOTÁ D.C.	23
5. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS.	25
5.1 ESTUDIO DE SUELOS.	25
5.1.1 Clasificación de los suelos encontrados.....	25
5.1.1.1 Ficha de resumen características de los suelos.....	26
5.1.1.2 Tipos de pilotes según estudio de suelos.	26
5.2 CAPACIDAD PORTANTE SEGÚN LOS SUELOS.	27
6. CIMENTACIÓN DE LOS PILARES.	28
6.1 DISEÑO CIMENTACIÓN PROFUNDA.	28
6.2 ESTRUCTURA DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA.	28
7. PILOTAJE.	29
7.1 CONTROLES TÉCNICOS.	29
7.1.1 Nivelación terreno.	29
7.1.2 Topografía del terreno de hincado.	29
7.1.3 Plano general de hincado.....	30

7.1.4 Revisión de la maquina hincado.	30
7.1.5 Bitácora de Hincado.	30
7.1.6 Procedimiento Técnico Hincado.	30
7.1.8.1 Juntas.	30
7.1.8.2 Soldadura.	31
7.1.8.3 Pruebas de Carga (PDA).	31
7.1.8.4 Verticalidad.	33
7.1.8.4.1 Inclínómetros 33	33
7.2 LONGITUD DEL PILOTAJE.	34
7.3. TABLA GENERAL COMPARATIVA Y DISEÑO GENERAL DE PILOTES.	34
Tabla 9 Geometría de las secciones.	35
7.3 TIPOS DE SISTEMAS DE PILOTAJE HINCADO.	39
PILOTES HINCADOS A PRESIÓN 39	39
7.4 CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS.	40
8. PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PILOTAJE PREFABRICADO EN CONCRETO HINCADO A PRESIÓN.	42
8.1 DESCARGA Y ACOPIO DE PILOTES PREFABRICADOS EN CONCRETO EN OBRA.	42
8.2 IZADO DE PILOTES PARA INICIAR EL PROCESO DE HINCA.	43
8.3 COLOCACIÓN DE PILOTE EN LAS MORDAZAS DE LA PILOTEADORA.	43
8.4 HINCA DEL PRIMER ELEMENTO DEL PILOTE PREFABRICADO EN CONCRETO.	44
8.5 IZADO DEL SEGUNDO ELEMENTO DEL PILOTE PARA CONTINUAR EL HINCADO.	44
8.6 CONEXIÓN DEL PRIMER ELEMENTO CON EL SEGUNDO ELEMENTO DEL PILOTE PREFABRICADO EN CONCRETO MEDIANTE JUNTA MECÁNICA SOLDADA.	45
8.7 HINCA DEL PILOTE PREFABRICADO EN CONCRETO HASTA LA PROFUNDIDAD REQUERIDA.	45
9. SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.	46
9.1. ELEMENTOS GENERALES DE PROTECCIÓN.	46
9.2. PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD PARA LOS PROCESOS QUE INTERVIENEN EN EL HINCADO.	47
10. CONSIDERACIONES GENERALES AMBIENTALES.	47
11. RECOMENDACIONES.	48
11.1 FABRICACIÓN DE LOS PILOTES PREFABRICADOS EN CONCRETO EN OBRA.	48
11.2 ALMACENAMIENTO Y MANIOBRAS DE PILOTES PREFABRICADOS EN CONCRETO EN OBRA.	48
11.3 NORMATIVIDAD.	49

Lista de tablas.

Tabla 1 Clasificación de los agregados naturales según el tipo de roca.	14
Tabla 2 Parámetros del agua para mezcla de concreto	16
Tabla 3 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra del reglamento NSR-10 capítulo C.5 tabla C.5.3.2.1	18
Tabla 4 Resumen de los suelos encontrados en el tramo de estudio, calle 26 en Bogotá.	26
Tabla 5 Pilotaje hincado cuadrado con relación a la profundidad y la capacidad admisible propuesto en los estudios de suelos en referencia.	27
Tabla 6 pilotaje pre-excavado con relación a la profundidad y la capacidad admisible propuesto en los estudios de suelos en referencia.	27
Tabla 7 Tabla de número mínimo de ensayos de Carga en pilotes o pilas para reducir los factores de seguridad indirectos mínimos (F_{SICP}).	32
Tabla 8 Tabla de los factores de seguridad indirectos (F_{SICP}) mínimos.	32
Tabla 9 Geometría de las secciones.	35
Tabla 10 Ficha técnica de máquina piloteadora Sunward.	39
Tabla 11 Factores de riesgo y equipos de protección individuales en el proceso de hincado.	46
Tabla 12 Tabla de normatividad vigente.	49

Lista de figuras.

Figura 1 Ciclo geológico de las rocas.	14
Figura 2 Gráfica de estimación de contenido de agua.	17
Figura 3 Izado de los pilotes	21
Figura 4 Almacenamiento de los pilotes.	22
Figura 5 Microzonificación del tramo de estudio.	24
Figura 6 detalle de la junta de pilotes	30
Figura 7 Conexión de las juntas entre elementos del pilote prefabricado en concreto	31
Figura 8 verificación de la verticalidad del pilote	33
Figura 9 Pilote prefabricado sección 30x30 cm.	36
Figura 10 Pilote prefabricado sección 35x35 cm.	37
Figura 11 Pilote prefabricado sección 40x40 cm.	38
Figura 12 Pilotaje hincados a presión.	40
Figura 13 Comparación de los sistemas de pilotaje de acuerdo con su geometría.	40
Figura 14 Comparación del sistema de pilotaje pre-excavado tipo tornillo y el sistema de pilotaje hincado prefabricado cuadrado.	41

PREÁMBULO.

El sistema de pilotaje hincado a presión hidráulica consiste en la utilización de pilotes de concreto reforzado fabricados in situ o fabricados en plantas de concreto. Estos últimos se constituyen en elementos prefabricados y desde las plantas de producción se envían a las obras donde son requeridos, por medio de transporte de carga pesada. Esta Guía constituye un documento práctico para ser utilizada por ingenieros y constructores de obras civiles que requieran pilotaje en su cimentación, durante el proceso especializado de hincado a presión de acuerdo con diseño de cimentación ya existente. Se indican desde los materiales y sus características, los tipos de pilotes, su proceso de fabricación, transporte y, por último, los detalles de la operación especial de hincado. De una manera sencilla y guiada se está contribuyendo a todo el proceso, desde la procura de materiales hasta la instalación en sitio de los pilotes prefabricados, con tecnología no muy difundida, facilitando los procedimientos y observando toda la normativa aplicable y, así, garantizar un trabajo seguro y de calidad. Dada la trascendencia en la construcción de los aspectos sismo-resistentes, esta Guía se desarrolló acorde con el Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR-10.

Los pilotes se fabrican en diferentes longitudes de acuerdo con los procesos constructivos recomendados por los especialistas de estructuras, con longitudes varían entre 1 metro para micro-pilotes, hasta 13 metros para proyectos a cielo abierto y de altura. Para conseguir longitudes mayores cuando son requeridas, se emplean pilotes superpuestos con juntas de unión en acero, logrando así alcanzar la profundidad de diseño utilizando varios pilotes. Las diferentes instalaciones de fabricación están hechas para producir pilotes prefabricados en concreto reforzado de tipos comunes y especiales, de acuerdo con el Reglamento NSR 10 aplicable para productos prefabricados en concreto en cimentaciones profundas.

El pilotaje hoy en día es el método eficaz más utilizado para cimentaciones profundas de todo tipo de construcciones, haciéndose prácticamente obligatorio en cimentaciones profundas indicadas para suelos poco portantes.

Para la producción se deberá tener en cuenta la calidad de los materiales y se realizan controles sistemáticos, a la recepción de los mismos (cemento, agua, gravas, aditivos, juntas mecánicas de conexión), controles de fabricación (preparación de moldes, dosificación del hormigón acorde a la planta, resistencia del hormigón, del acero, y control del curado), controles de almacenamiento (cuidado, curado y manejo de los pilotes) y, finalmente, el control de expedición que garantiza que todos los pilotes enviados a las obras cumplan con las exigencias de calidad solicitadas, según normas y diseño que exige cada infraestructura. El procedimiento de fabricación, manejo y utilización de los pilotes prefabricados en concreto, se han incluido en esta Guía, para garantizar su calidad y correcta utilización, cubriendo una sentida necesidad en la industria de la construcción, pues no se conoce algo similar que sirva de acompañamiento para todo el procedimiento de hincar a presión.

El análisis de la composición geométrica y las características de longitudes de la estructura general del pilote se tendrá en cuenta de acuerdo con los perfiles estratigráficos del suelo donde será hincado el pilote y se expresa en tablas comparativas que estarán incluidas y analizadas con su respectivo soporte técnico en esta Guía. Para hacerlo más didáctico, este proceso se muestra aplicado, a manera de ejemplo, a los pilares que serían requeridos en la cimentación de un monorriel con estudios ya existentes para transporte expreso de pasajeros de los Aeropuertos El Dorado I y el futuro El Dorado II de Bogotá.

Para las etapas constructivas y de desarrollo de la obra donde se utilicen los pilotes prefabricados, se determinarán los pasos que se deben tener en cuenta en el manejo de los elementos y las disposiciones en obra, así como los aspectos de cargue y descargue de los pilotes, por lo que se han incluido en esta Guía. Estas acciones deben reflejarse en la calidad del elemento y su funcionalidad en la superestructura, teniendo en cuenta la importancia dentro de cualquier proyecto, como elemento fundamental de la cimentación profunda.

Definiciones Generales.

1.1 Carga Portante.

La carga portante es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno, tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.¹

1.2 Cimentación.

La cimentación constituye el elemento intermedio que permite transmitir las cargas que soporten una estructura al suelo subyacente, de modo que no rebase la capacidad portante del suelo, y que las deformaciones producidas en éste sean admisibles para la estructura.²

1.3 Cimentación Profunda.

Se considerará que una cimentación es profunda cuando el extremo inferior del pilote, caisson y pantallas, están a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho³

1.4 Estructura.

Una estructura es una entidad física de carácter unitario, concebida como una organización de cuerpos dispuestos en el espacio de modo que el concepto del todo domina la relación entre las partes". Según esta definición vemos que una estructura en un ensamblaje de elementos que mantiene su forma y su unidad. Sus objetivos son: resistir cargas resultantes de su uso y de su peso propio y darle forma a un cuerpo, obra civil.⁴

¹ HURTADO Alba, Jorge, Universidad Nacional de Ingeniería, cimentaciones Profundas. [Citado 10 de Feb. 2017]. Disponible, en:

http://www.cismid.uni.edu.pe/descargas/a_labgeo/labgeo25_p.pdf.

² Centro de ingeniería rural, Universidad Castilla, Cimentaciones. [Citado 10 feb., 2017]. Disponible en: http://www.uclm.es/area/ing_rural/trans_const/tema24.pdf

³ Construcción. net, Teoría de cimentación. [Citado 11 feb., 2017]. Disponible en: <http://teoriadeconstruccion.net/blog/cimentaciones-profundas-definicion/>

⁴ Escuela ingeniería civil, Estructuras I. [Citado 11 feb., 2017]. Disponible en: <http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/conceptos%20fundamentales/conceptos%20fundamentales.htm>

1.5 Excavación.

Los trabajos de excavación se refieren al proceso de retiro de tierras o escombros de un lugar determinado, para la construcción de una cimentación, cuando por necesidades arquitectónicas, civiles o condiciones geotécnicas se requiera.

1.6 Hincado o hinca.

Introducir o clavar algo en otra cosa.⁵ Para el desarrollo de las actividades civiles se hinca en el terreno trazado en los planos de hinca.

1.7 Hincadora.

Máquina de presión, con gatos hidráulicos y un brazo de carga, que se utiliza para la hinca de pilotes prefabricados.

1.8 Monorriel.

Sistema de tren elevado, desarrollado para el transporte masivo de personas, que se soporta en una guía y una serie de pilares, con un solo riel.

1.9 Pilares y columnas.

El pilar y/o columna es un elemento alargado, normalmente vertical, en madera, acero, concreto y concreto reforzado destinado a recibir cargas (de compresión principalmente) para transmitir las al terreno mediante la cimentación superficial o profunda, Puede ser un elemento arquitectónico y/o estructural que tiene sección transversal poligonal.⁶

1.10 Pilote.

Es el elemento constructivo de cimentación profunda de tipo puntual utilizado en obras, que permite transmitir las cargas de la superestructura e infraestructura a través de estratos blandos e inconsistentes, hasta estratos más profundos con la capacidad de carga suficiente para soportarlas; o

⁵ Real academia de la lengua. Definiciones. [Citado 11 feb., 2017]. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=KPakljF>

⁶ Ingeniería civil, Blog, Suelos y cimentaciones. [Citado 10 feb., 2017]. Disponible en: <http://ingecivilcusco.blogspot.com>.

bien, para repartir estas en un suelo relativamente blando de tal manera que lo atraviesen para que permita soportar la estructura con seguridad.⁷

1.10.1 Pilotes in situ.

El Pilotes “in situ” se aplica cuando el método constructivo consiste en realizar una perforación en el suelo, una vez terminada, se le colocará una parrilla de acero de refuerzo armado en su interior y posteriormente se rellenará con hormigón⁸.

1.10.2 Pilote in situ de desplazamiento con azucche.

El pilote in situ de desplazamiento con azucche es un pilotaje de poca profundidad trabajando por punta, apoyado en roca o capas duras (estrato firme) de terreno, después de atravesar capas blandas.

1.10.3 Pilote in situ de desplazamiento con tapón de gravas.

El pilote in situ de desplazamiento con tapón de gravas es un pilotaje trabajando por fuste en terrenos granulares de compacidad media.

1.10.4 Pilote in situ de extracción con entubación recuperable.

El pilote in situ de extracción con entubación recuperable es un tipo de pilotaje que se ejecuta excavando el terreno y utilizando una camisa (tubo metálico a modo de encofrado), que evita que se derrumbe la excavación. A medida que el proceso de vaciado y hormigonado del pilotaje avanza, se va retirando gradualmente la camisa para ser reutilizada nuevamente.

1.10.5 Pilote in situ de extracción con camisa perdida.

El pilote in situ de extracción con entubación perdida es un tipo de pilotaje que se ejecuta excavando el terreno y utilizando una camisa (tubo metálico a modo de encofrado), que evita que se derrumbe la

⁷ BRAJA, M Das, *Principios de ingeniería de cimentaciones*, México: Thomson Editores, 1999. 564 p, ISBN 9706860355.

⁸ *Recomendaciones para la ejecución del hormigonado de pilotes y pantallas “in situ”:* manuales y recomendaciones. ISSN: 0211-6480

excavación. La camisa utilizada no se extrae y queda siendo parte del pilote.

1.10.6 Pilote in situ perforado sin entubación con lodos tixotrópicos.

El pilote in situ perforado sin entubación con lodos tixotrópicos es un tipo de pilotaje donde se estabiliza la excavación con lodos tixotrópicos (lodos bentónicos o con polímeros).

1.10.7 Pilote in situ barrenado sin entubación.

El pilote in situ barrenado sin entubación es un tipo de pilotaje que se realiza con una barrena continua asegurando que no se produzcan desprendimientos en las paredes.

1.10.8 Pilote in situ barrenado y hormigonado por tubo central de barrena.

El pilote in situ barrenado y hormigonado por tubo central de barrena es un tipo de pilotaje por desplazamiento de las tierras por medio de una barrena continua. El proceso de hormigonado se realiza por bombeo por el tubo central existente en el interior de la barrena.⁹

1.10.9 Pilotes hincados.

El pilote hincado es un tipo de pilotaje que consiste en introducir elementos prefabricados de concreto, madera y/o metálicos en el suelo por medio de piloteadoras a presión y piloteadoras con martillos percutores y se hincan por medio de golpes.

1.10.1 Pilotes prefabricados.

El pilote prefabricado es parte de las cimentaciones profundas conocidos también como pilotes premoldeados y se construyen en concreto reforzado o en concreto pretensados de acuerdo con el proceso constructivo.

⁹ GIRALDO PEÑA, Hilder y OLAYA PRADA, Nixon. *Estudio conceptual ferroviario proyectado en la intersección de la carrera 30 con línea del ferrocarril en la ciudad de Bogotá. Trabajo de grado Ingeniero. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería. 2013. 46 h.*

1.10.2 Pilotes excéntricos.

Los pilotes excéntricos son los que se ubican fuera de los ejes de las columnas en edificios urbanos con estructura reticular, los pilotes excéntricos pueden instalarse después de haberse iniciado la construcción del edificio.

1.11 Compresor.

Los compresores son máquinas que generan y almacenan aire comprimido generando energía de presión, transportándolo al lugar de utilización por medio de tuberías. Este medio seguro, versátil y flexible para transmitir energía, y al no producir contaminación ni chispas constituye junto al motor de combustión interna, la electricidad y los sistemas hidráulicos una de las fuentes de energía utilizadas dentro del campo en obras de construcción, especialmente en trabajos de compactación y vibrado de concreto, labrado de piedras, hincas de pilotes, etc.¹⁰

1.12 Suelo.

Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través del tiempo, con la desintegración de las rocas, movimientos tectónicos superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. Desde el punto de vista ingenieril, el material que constituye la corteza terrestre se divide en dos categorías: suelo y roca. Suelo es el agregado natural de granos minerales que pueden separarse mediante medios mecánicos, como por ejemplo la agitación en agua. En cambio, roca es el agregado natural de minerales que están conectados por fuerzas permanentes y cohesivas de carácter fuerte y permanente. Las dos definiciones difieren en los términos "fuerte" y "permanente", que son muy subjetivos y por tanto están sujetos a interpretaciones diferentes.¹¹

¹⁰ BARBER LLORET, Pedro. *Maquinaria de obras públicas III: Maquinaria específica elementos auxiliares*. España: Editorial Club Universitario, 2003. 265 p. ISBN: 84-8454-251-3

¹¹ Fundación de agricultura, Naciones Unidas, *Nociones ambientales*. [Citado 16 feb., 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w130i9s04.htm>

2. Producción de los pilotes.

2.1 Materiales.

Son todos aquellos que se utilizaran en el diseño de mezcla, proceso de fundida, curado del elemento y el pilote terminado puesto en la obra.

2.1.1 Lista General de Materiales y procedimientos

Los materiales utilizados para la producción de concreto reforzado representan la calidad del mismo y es de carácter imperativo hacer los procesos y procedimientos aplicando el reglamento NSR-10 Titulo C capítulo C.3 - Materiales, las normas que correspondan a la Norma Técnica Colombiana (NTC) y en casos que no exista una norma NTC se acepta la utilización de normas de la Sociedad Americana de Ensayo y Materiales (American Society for Testing and Materials – ASTM)¹²

2.1.1.1 Cemento.

Para el desarrollo de los diferentes procesos se utiliza cemento portland hidráulico, el cual tiene propiedades tanto adhesivas como cohesivas, que les dan la capacidad a los agregados para conformar el concreto, este es un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a altas temperaturas 1400°C para convertirlo en un polvo fino al cual se le agrega yeso.¹³

De acuerdo con la NSR-10 el cemento fabricado debe cumplir con la norma NTC 121 y NTC 321, también se permite el uso de cementos fabricados bajo la norma ASTM C150. El humo de sílice debe cumplir con la norma NTC 4637 (ASTM C1240).¹⁴

2.1.1.2 Agregados.

Los agregados son aquellos materiales inherentes de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland junto

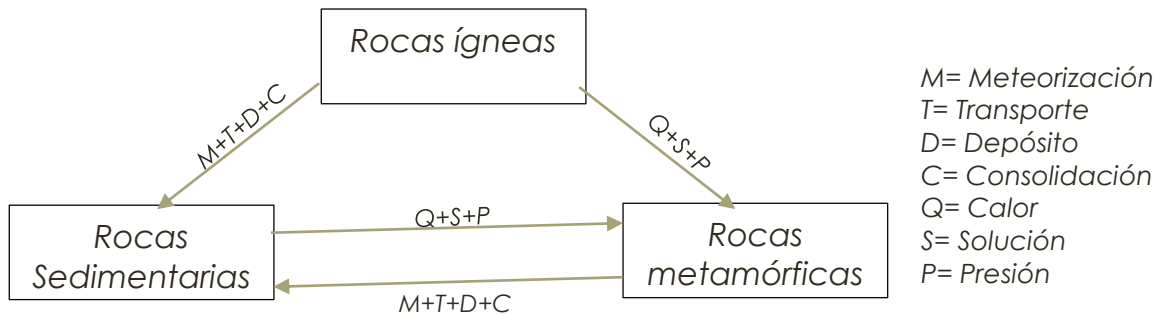
¹²Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Titulo C – Concreto Estructural: Capítulo C.1.5 - Obligatoriedad de las normas técnicas citadas en el titulo C. Bogotá: 2010. p C-11.

¹³ NEVILLE ADAM, Tecnología del concreto, 3 Ed, México: Trillas Editores 2010 pág. 14.

¹⁴ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Titulo C – Concreto Estructural: Capítulo C.3.2 – Materiales cementantes. Bogotá: 2010. p C-41 y C-42.

con el agua conforman el concreto. Estos materiales tienen un ciclo geológico como se describe en la figura 1

Figura 1 Ciclo geológico de las rocas.



Fuente: SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero, 5 Ed, Bogotá: Bhandar Editores LTDA, 2001. 349 p. ISBN 95879247040.

Desde el punto de vista petrográfico los agregados naturales se clasifican mediante exámenes visuales y análisis litológicos que evalúan la calidad de los mismos. Por otra parte, el carácter mineralógico de los agregados esta dado por características mineralógicas de la roca madre de donde provengan¹⁵ y la clasificación de los agregados naturales según el tipo de roca se describe en la tabla 1

Tabla 1 Clasificación de los agregados naturales según el tipo de roca.

Grupo basáltico	Grupo pedernalino	Grupo gábrico
Andesita	Horsteno	Diorita básica
Basalto	Pedemal	Gneis básico
Porfiditas básicas		Gabro
Diabasa		Roca hornablenda
Doleritas de todos tipos, incluidas teralita y teschenita		Norita
Epidiorita		Peridotita
Lamprofira		Piorita
Cuarzo-dolerita		Serpentinita
Espilita		
Grupo granítico	Grupo arsénico	Grupo homofélsico

¹⁵ SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero, 5 Ed, Bogotá: Bhandar Editores LTDA, 2001. 349 p. ISBN 9587247040.

Gneis Granito Granodiorita Granulita Pegmatita Cuarzo-diorita Sienita	Arcosa Grawaca Arenilla Arenisca Tufa	Rocas que se alteran con el contacto de todas clases, excepto mármol
Grupo calizo	Grupo porfirítico	Grupo cuarzoso
Dolomita Caliza Mármol Grupo esquistoso Filita Esquisto Pizarra Todas las piedras severamente fracturadas	Aplita Dacita Felsita Granófiro Queratófiro Microgranito Pórfido Cuarzo-porfirita Reolita Traquita	Arcilla refractaria Cuarzita recristalizada

Fuente: SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero, 5 Ed, Bogotá: Bhandar Editores LTDA, 2001. 349 p. ISBN> 95879247040.

Los agregados para el concreto de peso normal deben cumplir con la norma NTC 174 (ASTM C33) y los de peso liviano con la norma NTC 4045 (ASTM C330) el Reglamento NSR-10 permite el uso de agregados que han demostrado a través de ensayos o por experiencias prácticas que producen concreto de resistencia y durabilidad adecuadas, siempre y cuando sean aprobados por el Supervisor Técnico.¹⁶

2.1.1.3 Agua.

El agua de mezcla cumple con las funciones de permitir la hidratación del cemento y hacer que la mezcla sea manejable y los parámetros se muestran en la tabla 2. La composición química del agua adecuada para producir el concreto debe indicar que es apta para el consumo humano, la estimación del contenido de agua en el concreto se muestra en la figura 2.¹⁷

¹⁶ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C – Concreto Estructural: Capítulo C.3.3 – Agregados. Bogotá: 2010. p C-42.

¹⁷ RIVERA, Gerardo. Agua de mezcla. En: Concreto simple. [citado 28 abr, 2017]. Disponible en:

El agua empleada en el mezclado del concreto debe cumplir con la norma NTC 3459 (BS3148) o de la norma ASTM C1602M.¹⁸

Tabla 2 Parámetros del agua para mezcla de concreto

Parámetros - Partes por Millón	PPM
Carbonato de sodio y potasio	1
Cloruro de sodio	20
Sulfato de sodio	10
Sulfato, SO ₄	3
Carbonato de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400
Cloruro de magnesio	40
Sulfato de magnesio	25
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%
Sales de hierro	40
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500
Sulfito de sodio	100
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10
PH	6,0 a 8,0
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0.50%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1.20%
Azúcar	500
Partículas en suspensión	2
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto)	2%
Agua con algas	0
Materia orgánica	20
Agua de mar	35000

Fuente: ASOCRETO Tecnología del concreto. Calidad del agua. 4 ed. Bogotá Asocreto. 2015 pág. 45-61

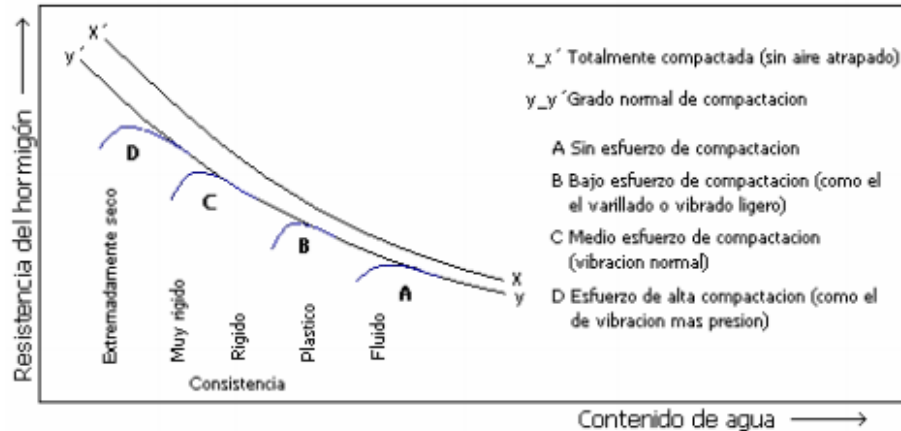
El agua de mezclado para concreto pre esforzado o para concreto que contenga elementos de aluminio embebidos, incluyendo la parte del agua de mezclado con la que contribuye la humedad libre de los

<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20PDF%20ver.%20202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf>

¹⁸ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C – Concreto Estructural: Capítulo C.3.4 – Agua. Bogotá: 2010. p C-43.

agregados, no debe contener cantidades perjudiciales de iones de cloruros. Véase C.4.3.1.¹⁹

Figura 2 Gráfica de estimación de contenido de agua.



Fuente: <http://www.unalmed.edu.co/~ogiraldo/archivos/laboratorio/mezclas04b.pdf>.

2.1.1.4 Acero de Refuerzo.

El acero de refuerzo debe ser corrugado y deben cumplir con la norma NTC 2289 (ASTM A706M), para la realización de pilotes no es permitido usar acero liso de acuerdo con el reglamento NSR-10.

2.1.1.4 Aditivos.

Los aditivos son materiales distintos del agua que se utiliza como ingrediente en el concreto y se añade en la mezcla antes o durante su mezclado. Su función, en estos son la aceleración, retardo o reducción de agua normal, (Plastificadores). La aceleración de reducción de agua, retardo de reducción de agua son algunas de las características que se quiere lograr para cambiar algunas propiedades en el concreto²⁰.

2.1.2 Diseño de mezcla.

El diseño de mezcla es la composición general del concreto que va a ser utilizado, las condiciones técnicas son de mucha importancia y el proceso

¹⁹ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C – Concreto Estructural: Capítulo C.3.4-2. Bogotá: 2010. p C-43.

²⁰ SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero, 5 Ed, Bogotá: Bhandar Editores LTDA, 2001. 349 p. ISBN 9587247040

debe ser respetado a cabalidad, cada elemento constitutivo en cantidad y condición debe ser respetado, si hubiere algún cambio este tendría que registrarse y consultarse con el profesional encargado de calidad.

Para seleccionar una mezcla adecuada de concreto, hay que seguir tres pasos básicos de acuerdo con el Reglamento NSR-10. El primero es determinar la desviación estándar de la muestra. El segundo determinar la resistencia promedio a la compresión requerida. El tercer paso es la dosificación de la mezcla requerida para producir esa resistencia promedio, ya sea mediante mezclas de prueba o un adecuado registro de experiencias. El nivel de sobre resistencia requerido depende de la variabilidad de los resultados de los ensayos.²¹

2.1.3 Proceso para el diseño de mezclas de concreto.

Paso a paso identificamos los factores que afectan este proceso sin omitir ningún detalle porque transformar la mezcla, los principios técnicos tienen que aplicarse de la manera como se plantea en el reglamento NSR-10 para lograr la resistencia promedio requerida a la compresión y para determinar la dosificación del concreto se debe emplear la desviación estándar y se debe determinar según la tabla 3.

Tabla 3 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra del reglamento NSR-10 capítulo C.5 tabla C.5.3.2.1

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (C.5-1) y (C.5-2) $f'_{cr} = f'_c + 1.34s_s$ (C.5-1) $f'_{cr} = f'_c + 2.33s_s - 3.5$ (C.5-2)
$f'_c > 35$	Usar el mayor valor obtenido con las ecuaciones (C.5-1) y (C.5-3) $f'_{cr} = f'_c + 1.34s_s$ (C.5-1) $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s_s$ (C.5-3)

Fuente: tomado del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 capítulo C pág. C-72

²¹ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C – Concreto Estructural: Capítulo C.5.3 – Dosificación basada en la obra o en mezclas de prueba o ambas. Bogotá: 2010. p C-42.

2.1.3.1 Estudio de las especificaciones de la obra.

En la obra se realizará un estudio previo de revisión de procedimientos, procesos constructivos, planos estructurales, de los materiales a utilizar y del insumo principal para determinar las características del concreto.

2.1.3.2 Definición de la resistencia Compresión/flexión.

De acuerdo con la carga última mayorada o de servicio solicitada se generará los parámetros de resistencia.

2.1.3.3 Elección del asentamiento.

En el diseño de mezcla la relación de agua cemento, estará definida por el diseño estructural y las condiciones preestablecidas por la obra, y deben cumplir los parámetros que establece el reglamento NSR-10, la NTC 396 y la ASTM C143.²²

2.1.3.4 Determinar tamaño máximo y tamaño máximo nominal (TM – TMN).

Los materiales, agregados utilizados en el diseño tendrán un tamaño máximo nominal. Según la norma esta entre $\frac{3}{4}$ de pulgada el TM y 1 pulgada para el TMN.

2.1.3.5 Estimación cantidad de aire.

Las condiciones para agregar aire en una mezcla son muy específicas para nuestro caso puntual en pilotes prefabricados no agregaremos aire, pero si el terreno y las condiciones técnicas lo solicitaran se tendría que hacer dentro de los parámetros correspondientes a que especifica la norma NTC 1032 y reglamento NSR-10 Título C Numeral 4.3.1.

2.2 Condiciones de los materiales.

2.2.1 Agregados

2.2.1.1. Gravas.

Las gravas pueden encontrarse básicamente de dos tipos naturales y de explotación minera, que siendo naturales necesitan un proceso de

²² GIRALDO BOLIVAR, Orlando. Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1987. 186 p.

fracturación a través de voladura y una trituración mecánica, para lograr el tamaño deseado; estas a su vez tienen unos subgrupos según su formación geológica, mineralogía y reacciones que pueda presentar de acuerdo con su origen. Los aspectos técnicos generales, Tamaño máximo nominal 1 pulgada, Caras fracturadas, Resistencia, reacciones químicas, (Álcali sílice), que afecten el concreto, residuos orgánicos, humedad y absorción de acuerdo con el reglamento NSR-10- C.5 – Numeral 5.2 y la NTC 890.

2.2.1.2. Arenas.

Las arenas pueden encontrarse básicamente de dos tipos naturales y de explotación minera, que siendo naturales necesitan un proceso de voladura y una trituración mecánica o de cernir, para lograr el tamaño deseado; estas a su vez tienen unos subgrupos según su formación geológica, mineralogía y reacciones que pueda presentar de acuerdo con su origen. Los aspectos técnicos generales, tamaño máximo nominal Resistencia, reacciones químicas que afecten el concreto, residuos orgánicos, humedad y absorción de acuerdo con el reglamento NSR-10- C.5 – Numeral 5.2 y la NTC 890.

3. Logística.

3.1 Transporte de los pilotes.

Los pilotes deberán ser transportados en vehículos de carga pesada, tracto mulas con un planchón mínimo de 12 m y una capacidad máxima de carga de 50 toneladas incluido el peso propio. (Carga 35 toneladas)

3.1.1 Carga y manejo de los pilotes.

En general, los pilotes deberán ser izados por medio de cables metálicos apoyados en los puntos marcados en los pilotes, en no menos de dos puntos, preferiblemente en los puntos quintos extremos, pero en no más de 6.0 más entre sí, o en los puntos indicados en los planos de construcción. Además, se debe tener cuidado para no dañar la superficie de los pilotes durante el manejo y movilización.

Figura 3 Izado de los pilotes



Fuente: Autores, Obra Madrid, Cundinamarca, 2015.

3.1.3 Plan de Manejo de Tránsito (PMT).

La obra deberá contar con un Plan de Manejo de Tránsito (PMT) vigente donde demarque las zonas de parqueo y zonas de descarga para realizar el izado de los pilotes.

Los planes de manejo de tránsito se establecen como propuestas técnicas a desarrollar como estrategias de mitigación para los impactos generados

por las obras de infraestructuras, el cual afecta el funcionamiento tradicional de la movilidad y el tránsito de vehículos y peatones, para este desarrollo es necesario contar con las señales requeridas indicando que hay una obra en construcción.²³

3.1.4 Descarga de los pilotes en Obra.

La descarga de los pilotes se debe realizar adecuadamente enganchando los pilotes de las guías contenidas en el pilote con tal que no sufra fisuras por flexión o mala manipulación. Los pilotes deberán ser apilados máximo tres elementos por fila en una superficie plana.

3.2 Almacenamiento de los pilotes.

El almacenamiento de los pilotes debe ser planeado para eliminar riesgos de fracturas y flexión durante el proceso de curado y manipulación de los mismos. Se deben almacenar sobre una superficie firme apoyados en dos soportes de madera que estarán separados a 35% de la longitud del pilote de cada extremo del mismo y se apilarán máximo tres elementos por fila como se observa en la figura 4.

Figura 4 Almacenamiento de los pilotes.



Fuente: Autores, Planta producción COEX 2015 Bogotá.

²³ ley 769 de 2002 articulo 101 código nacional de tránsito y transporte -CNTT tomado de http://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/concepto-16_992_27066.pdf citado 01 abr 2017

4. Suelos.

4.1 Análisis general suelos.

La cimentación transmite cargas a las capas del terreno causando tensiones y deformaciones en la capa del terreno soporte. De acuerdo con el comportamiento de los materiales las deformaciones dependen de las tensiones y las propiedades que tiene el terreno soporte. Las deformaciones presentadas en el terreno corresponden a la suma que produce asentamientos en las superficies de contacto entre la cimentación y el terreno.²⁴

El reglamento NSR-10 capítulo H.1 Numeral H.1.1. son los requisitos generales que establecen criterios básicos para realizar estudios geotécnicos de edificaciones, basados en la investigación del subsuelo y las características arquitectónicas y estructurales de las edificaciones con el fin de proveer las recomendaciones geotécnicas de diseño y construcción de excavaciones y rellenos, estructuras de contención, cimentaciones, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes y la definición de espectros de diseño sismo resistente, para soportar los efectos por sismos y por otras amenazas geotécnicas desfavorables.²⁵

4.2 Zonificación de los suelos de Bogotá.

En el decreto No 523 de 16 de diciembre de 2010 se adopta la microzonificación sísmica de Bogotá D.C que fija las zonas geotécnicas y las zonas de respuesta sísmica de Bogotá D.C y el reglamento NSR-10 C.A numeral A.2.1.2.1 prescribe un procedimiento para determinar los efectos en los movimientos sísmicos y parametriza los estudios de microzonificación sísmica.

4.3 Zonificación de los suelos de la línea del Monorriel del Aeropuerto El Dorado I y El Dorado II hasta el centro internacional de Bogotá D.C.

La zonificación sísmica en el tramo de la línea del monorriel, desde el Aeropuerto El Dorado I y El Dorado II hasta el centro internacional de

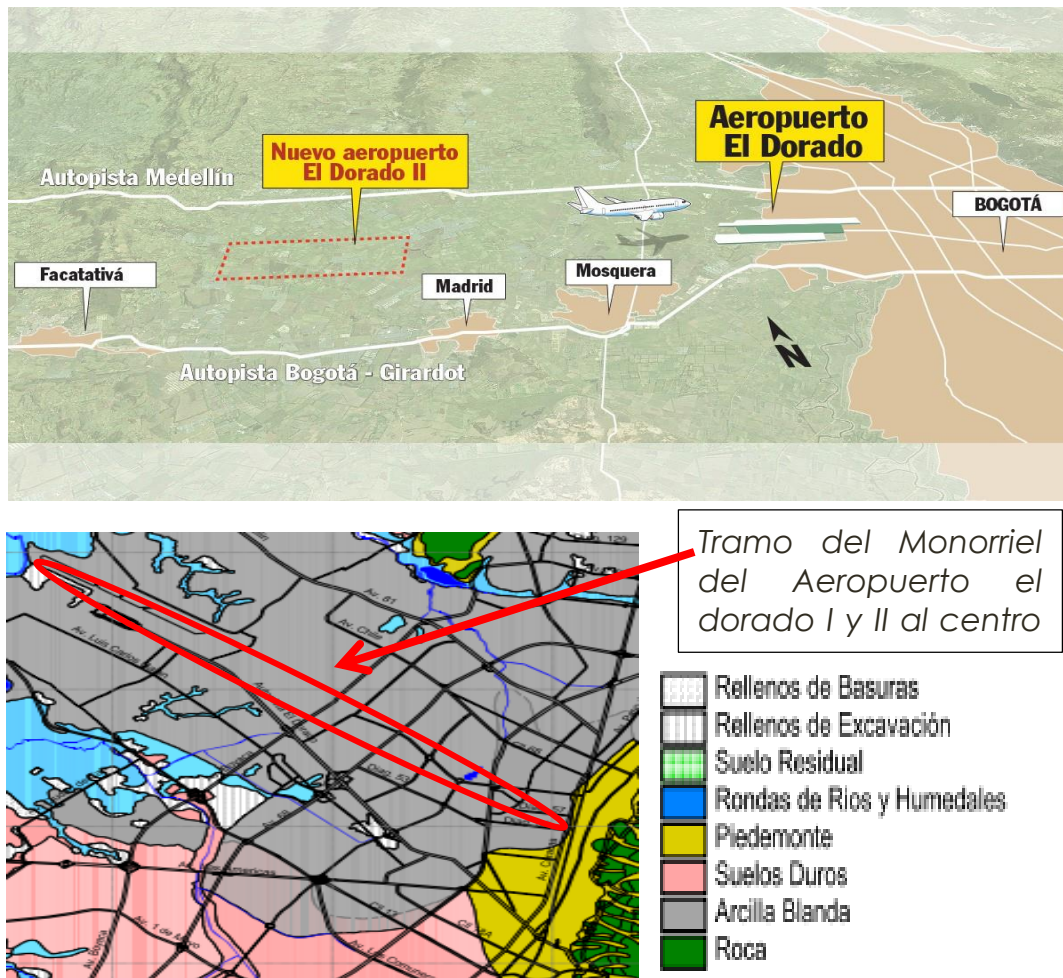
²⁴ CAPOTE ABREU, Jorge A. el suelo como elemento portante de las cimentaciones. *En: La Mecánica de suelos y las cimentaciones [en línea].* [citado 20 abr, 2017] disponible en: <http://grupos.unican.es/gidai/web/asignaturas/CI/Cimentaciones.pdf>

²⁵ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título H – Estudios Geotécnicos: Capítulo H.1.1 – Requisitos Generales. Bogotá: 2010. p H-1

Bogotá, geológicamente se describe como una actividad sísmica reciente, aunque no se tenga un hecho histórico de dicha actividad y debido a las bajas frecuencias relativas de eventos importantes ²⁶

El tramo del monorriel de acuerdo con la figura 5 se encuentra en una zona de arcilla blanda.

Figura 5 Microzonificación del tramo de estudio.



Fuente: http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/Mapa_Geo.pdf.

²⁶ Unidad de Prevención y Atención de Emergencias de Santa Fe de Bogotá, D.C. Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. [citado 21 abr, 2017] disponible en: http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/Microzonificacion_de_Bogota_1993.pdf

Características del suelo en el tramo en referencia

- ✓ El estrato o estratos superiores del suelo son altamente compresibles y demasiado débiles para soportar la carga transmitida por la superestructura.
- ✓ Hay presencia de suelos expansivos, las cimentaciones con pilotes se consideran como una alternativa cuando éstos se extienden más allá de la zona activa de expansión y contracción.
- ✓ Las cimentaciones de algunas estructuras están sometidas a fuerzas de levantamiento.
- ✓ Hay presencia de fuerzas horizontales, las cimentaciones con pilotes resisten por flexión mientras soportan aún la carga vertical transmitida por la superestructura.
- ✓ Se quiere evitar los daños que puede sufrir una futura excavación a la cimentación de una edificación adyacente; en este caso el pilote lleva la carga de la cimentación debajo del nivel de excavación esperado.²⁷

PASO 1.

ANÁLISIS GENERAL DE SUELOS.

5. Identificación de los suelos.

5.1 Estudio de suelos.

Para la realización de los estudios de suelos se debe tener en cuenta los parámetros y especificaciones de la NSR-10 Título H-Estudios Geotécnicos, capítulo H-3 Caracterización geotécnica del suelo y determinación de sondeos se basan en las especificaciones que establece en las categorías de la unidad de construcción según los niveles de construcción - Título H.3.1.1, mínimo de sondeos de acuerdo con las categorías y áreas de construcción – Título H.3.2.3

5.1.1 Clasificación de los suelos encontrados.

La clasificación de los suelos en el tramo del monorriel se realiza para las diferentes ubicaciones de acuerdo con estudios de suelos previos de edificaciones desarrollados cerca al tramo del monorriel.

²⁷Universidad de Piura, Guía para el diseño de pilotes, [Citado 16 feb., 2017]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1370/ICI_114.pdf

5.1.1.1 Ficha de resumen características de los suelos.

Los perfiles estratigráficos de los estudios realizados en diferentes tramos del trayecto del monorriel del Aeropuerto El Dorado I y El Dorado II hasta el centro Internacional de la ciudad de Bogotá, se describen de acuerdo a unos estudios de suelos realizados para edificaciones cerca a este tramo por las empresas Alfonso Uribe Sardina, la empresa EYR Espinosa y Restrepo SAS, Lizcano y Esguerra CIA LTDA ingenieros consultores y por La Universidad Nacional de Colombia y se describe en la tabla 4.: Bogotá, todos los estudios sobre la calle 26 y la ciudad de Madrid y Funza.

Tabla 4 Resumen de los suelos encontrados en el tramo de estudio, calle 26 en Bogotá.

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN
1.5 Y 2.0	Rellenos y capa vegetal
2.3 y 2.9	Limos arcillosos consistencia blanda a media
2.8 y 3.9	Arcillas consistencia media a blanda
6.0 y 45.0	Arcillas color gris oscuros consistencia blanda
2.0 y 3.7	Nivel freático

Fuente: tomado de Estudios de suelos en referencia.

5.1.1.2 Tipos de pilotes según estudio de suelos.

En los estudios de suelos realizados para edificaciones cerca a este tramo por las empresas Alfonso Uribe Sardina, la empresa EYR Espinosa y Restrepo SAS, Lizcano y Esguerra CIA LTDA ingenieros consultores y por La Universidad Nacional de Colombia hacen referencia de los tipos de pilotes que se deben construir para las edificaciones donde realizan las propuestas entre pilotajes preexcavados y pilotajes hincados y de acuerdo a estos estudios se realiza un resumen de pilotes propuestos en la **tabla 5** para pilotaje hincado y en la **tabla 6** para pilotaje pre-excavado.

Tabla 5 Pilotaje hincado cuadrado con relación a la profundidad y la capacidad admisible propuesto en los estudios de suelos en referencia.

Profundidad (m)	Sección (m)		
	0,25 x 0,25	0,30 x 0,30	0,35 x 0,35
	Carga admisible (tonelada)		
34	55,6	66,7	77,9
35	59,6	71,5	83,4
36	63,6	76,3	89,00
38		59,2	68,8
39		61,9	72
40		64,7	75,2
41		67,6	78,5
42		70,5	81,9

Fuente: tomado de Estudio de suelos y análisis de cimentaciones en referencia.

Tabla 6 pilotaje pre-excavado con relación a la profundidad y la capacidad admisible propuesto en los estudios de suelos en referencia.

Profundidad (m)	Diámetro (m)					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1.0
	Carga admisible (tonelada)					
30,0	88,39	106,068	123,746	141,424	159,102	176,780
31,0	90,07	108,084	126,098	144,112	162,126	180,140
32,0	91,74	110,088	128,436	146,784	165,132	183,480
33,0	93,42	112,104	130,788	149,472	168,156	186,840
34,0	95,1	114,120	133,140	152,160	171,180	190,200
35,0	96,77	116,124	135,478	154,832	174,186	193,540
36,0	98,45	118,140	137,830	157,520	177,210	196,900
37,0	100,12	120,144	140,168	160,192	180,216	200,240
38,0	101,8	122,160	142,520	162,880	183,240	203,600
39,0	103,47	124,164	144,858	165,552	186,246	206,940
40,0	105,15	126,180	147,210	168,240	189,270	210,300

Fuente: tomado de Estudio de suelos y análisis de cimentaciones en referencia.

5.2 Capacidad portante según los suelos.

Los pilotes que trabaja por punta son elementos de fundación que presentan unas características geotécnicas particulares, ya que su mecanismo de trabajo es desarrollado por la resistencia producida en la base del pilote, en la cual se encuentra localizada una roca caliza meteorizada de buena resistencia. Los pilotes que trabajan por fuste son elementos que están embebidos en suelos arcillosos y limosos de origen

Lacustre característicos de la sabana de Bogotá, proporcionando un escenario adecuado para la aplicación de elementos profundos que trabajan gracias a su capacidad friccional. Además, el aporte por punta es despreciable, a tal punto que puede disminuir a medida que la relación de esbeltez aumenta.²⁸

PASO 2. CIMENTACIÓN.

6. Cimentación de los pilares.

6.1 Diseño cimentación profunda.

H.8.4.2 — CIMENTACIONES CON PILOTES O PILAS — La colocación de pilotes y pilas se ajustará al proyecto correspondiente, verificando que la profundidad de desplante, el número y el espaciamiento de estos elementos correspondan a lo señalado en los planos estructurales. Los procedimientos para la instalación de pilotes y pilas deberán garantizar la integridad de estos elementos y que no se ocasione daños a las estructuras e instalaciones vecinas por vibraciones o desplazamiento vertical y horizontal del suelo. Cada pilote, sus tramos y las juntas entre estos, en su caso, deberán diseñarse y construirse de modo tal que resistan las fuerzas de compresión y tensión y los momentos flexionantes que resulten del análisis.²⁹

6.2 Estructura de la cimentación profunda.

Siguiendo los parámetros de la NSR-10 en el Título C - Concreto estructural capítulo C.15 – cimentaciones, se describen los parámetros para el diseño de las cimentaciones profundas. CCP – 14 Capítulo 10.

C.15.11.1 — Alcance – Los requisitos que se presentan en esta sección corresponden a los requerimientos mínimos por razones estructurales de pilotes y cajones de cimentación de concreto, incluyendo pilotes hincados, pilotes vaciados en sitio con camisa de acero, pilotes pre

²⁸ Evaluación comparativa de la capacidad de carga en cimentaciones profundas. fórmulas analíticas y ensayos de carga [en línea]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2012- [citado 08 abr., 2017] disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/35996/45876> ISSN En línea: 2357-3740

²⁹ AIS, Norma Técnica Colombiana Sismo Resistente, NSR 10, Título H [Citado 21 feb., 2017]. Disponible en: <http://www.scg.org.co/Titulo-H-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-14.pdf>

barrenados y cajones de cimentación excavados manual y mecánicamente. Las armaduras mínimas prescritas en la presente sección no cubren los efectos de impacto por hincado, ni las solicitaciones derivadas de empujes laterales y efectos sísmicos sobre los pilotes y cajones de cimentación, los cuales deben ser definidos por el estudio.³⁰

En el capítulo 5 de la norma colombiana de diseño de puentes (CCP-14), Se toca el tema del manejo del concreto para pilares, en el capítulo 10 se habla de Cimentaciones, capítulo 10.7 pilotes. es un documentó de referencia en el que se hacen las observaciones respecto al diseño. ³¹

PASO 3.

GUÍA PILOTAJE DEL PILAR.

7. Pilotaje.

7.1 Controles técnicos.

7.1.1 Nivelación terreno.

Para la iniciación del proceso de hincado el terreno deberá estar en condiciones óptimas, planas y compactas para que la maquina pueda desplazarse sin dificultades y sin correr algún riesgo de volcamiento.

7.1.2 Topografía del terreno de hincado.

El hincado de pilotes a través de terraplenes recientemente construidos se hará mediante agujeros taladrados o punzonados a través del terraplén, cuando su altura sea superior a un metro y medio (1.50 m). Los agujeros deberán tener una dimensión no inferior a la mayor sección transversal del pilote más quince centímetros (15 cm). Una vez hincado el pilote, se deberá rellenar el espacio en derredor hasta el nivel de la superficie, empleando arena o gravilla. El material resultante de los agujeros deberá ser dispuesto en lugar aprobado.

³⁰ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C – Concreto Estructural: Capítulo C.15 - cimentaciones. Bogotá: 2010. p C-287.

³¹ Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14 Disponible en: Citado 09 de Agosto de 2017 <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>

7.1.3 Plano general de hincado.

Se deberá tener en obra el plano de localización de pilotes y deberán ser localizados y marcados por la comisión topográfica así mismo será verificados después del proceso de hincado. Los planos deberán estar certificados y avalados por una empresa de diseño estructural.

7.1.4 Revisión de la maquina hincado.

Antes de realizar la maniobra de hincado de deberá hacer una revisión de nivel de la máquina piloteadora de hincado para evitar desvíos de los pilotes. La ficha técnica de la maquina piloteadora se encuentra en la tabla 17.

7.1.5 Bitácora de Hincado.

Se deberá tener registro completo en una bitácora del proceso del hincado desde su inicio de izado hasta la terminación del hincado por cada uno de los pilotes.

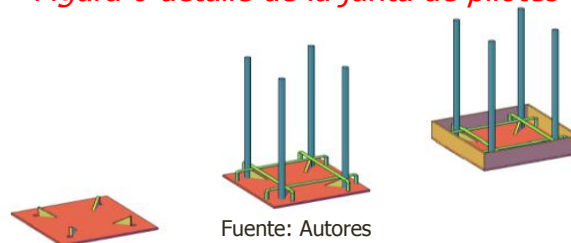
7.1.6 Procedimiento Técnico Hincado.

Se realizará el proceso de hincado representado en el numeral 9 de esta guía y bajo un proceso constructivo que será de conocimiento de la empresa constructora aprobado por la empresa interventora.

7.1.8.1 Juntas.

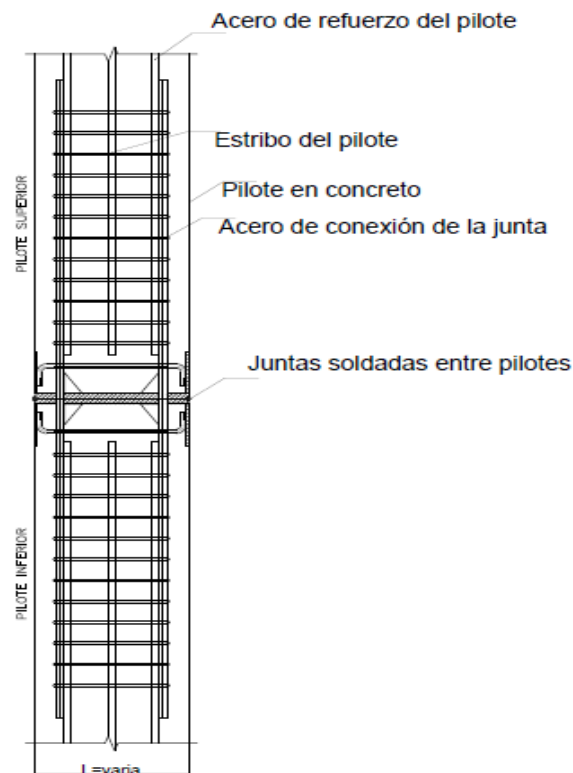
La junta mecánica se utiliza en la unión de un tramo de pilote con otro garantizando la continuidad de transmisión de fuerzas como se muestra en la figura 7. Se utiliza una junta mecánica cuadrada de acuerdo con la sección del pilote con dos platinas de 1 pulgada, una en cada extremo. La junta transmite la carga a través de 4 barras de acero de diámetro 3/4 de pulgada, F_y de 420 MPa, embebidas en el concreto del pilote como se muestra en la figura 6.

Figura 6 detalle de la junta de pilotes



Fuente: Autores

Figura 7 Conexión de las juntas entre elementos del pilote prefabricado en concreto



Fuente: propia

7.1.8.2 Soldadura.

La soldadura MIG/MAG es un proceso por arco, bajo gas protector con electrodo consumible, el arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG) o por un gas activo (soldadura MAG). Este proceso se realiza en la unión de las juntas de los pilotes, y debe cumplir con la norma NTC 4040 (American Welding Society - AWS D1.4)

7.1.8.3 Pruebas de Carga (PDA).

Las pruebas dinámicas (PDA) permiten ensayar de manera confiable todo tipo de fundaciones profundas. Este método permite realizar

7.1.8.4 Verticalidad.

Antes de realizar el hincado de pilotes será verificada la verticalidad de los tramos de pilotes y las perforaciones previas (pre hueco). La desviación de la vertical del pilote no deberá ser mayor de $3/100$ de su longitud para pilotes con capacidad de carga por punta y de $6/100$ en casos de cargas por fricción. La posición final de la cabeza de los pilotes no deberá inferir respecto a la de proyecto en más de 20 cm ni de la cuarta parte del ancho del elemento estructural que se apoye sobre ella de acuerdo con la norma NSR-10 capítulo H.8.4.2.2

Figura 8 verificación de la verticalidad del pilote



Fuente: Autores, obra Pontevedra, Bogotá 2014 ´.

7.1.8.4.1 Inclinómetros

Los Inclinómetros son instrumentos utilizados para medir la deformación horizontal del suelo a una cierta profundidad, este sistema se utiliza en el centro del pilote mediante un tubo guía de plástico o en acero, este tubo lleva unas guías longitudinales que orientan una unidad sensor que miden

la inclinación del elemento. Contiene un cable de control que sube y baja al sensor que es el que transmite señales eléctricas a la superficie.³³

7.2 Longitud del pilotaje.

Las longitudes y secciones de los pilotes deben ser eficientes y de fácil transporte, la longitud de cada cuerpo del pilote será de 12.10 mts. Esta longitud se ajusta de acuerdo con la resolución 004100 de 2004 del ministerio de transporte, por la cual reglamenta los límites de dimensiones en los vehículos de transporte terrestre y cargas a nivel nacional.³⁴

El refuerzo transversal y longitudinal se coloca de acuerdo con la tabla 9 de esta guía que más adelante se muestra.

7.3. Tabla general comparativa y diseño general de pilotes.

En la tabla 9 se hace una comparación con relación al área de fricción entre los pilotes de sección cuadrada a los pilotes de sección circular, de igual forma en la tabla se muestra el número de barras longitudinales de acuerdo con el área trasversal de concreto del pilote y de acuerdo con la NSR-10 Capítulo C – C15.11.5.4 indica que debe colocarse refuerzo longitudinal con una cuantía mínima de 0.01 en toda la longitud del pilote. Los diámetros de los estribos deben ser mínimo de diámetro N° 2 (1/4") y en los primeros 0.60 m de longitud y de igual forma los últimos 0.60 m de longitud del pilote o elemento de pilote, la separación del estribo no debe ser mayor de 0.10 m y 16 diámetros de barra longitudinal en el resto del pilote. La resistencia mínima de compresión del concreto antes de iniciar el hincado debe ser de $f'_c=21$ MPa.³⁵

³³ SUAREZ Jaime, análisis geotécnico instrumentación y monitoreo. [Citado 27 mar., 2017]. Disponible en <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/45-tomoi.html?download=443:librodeslizamientosti-cap12>

³⁴ Ministerio de transporte. Resolución N° 004100 de 28 de dic. 2004 por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional. [citado 07 abr., 2017] disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=15600>

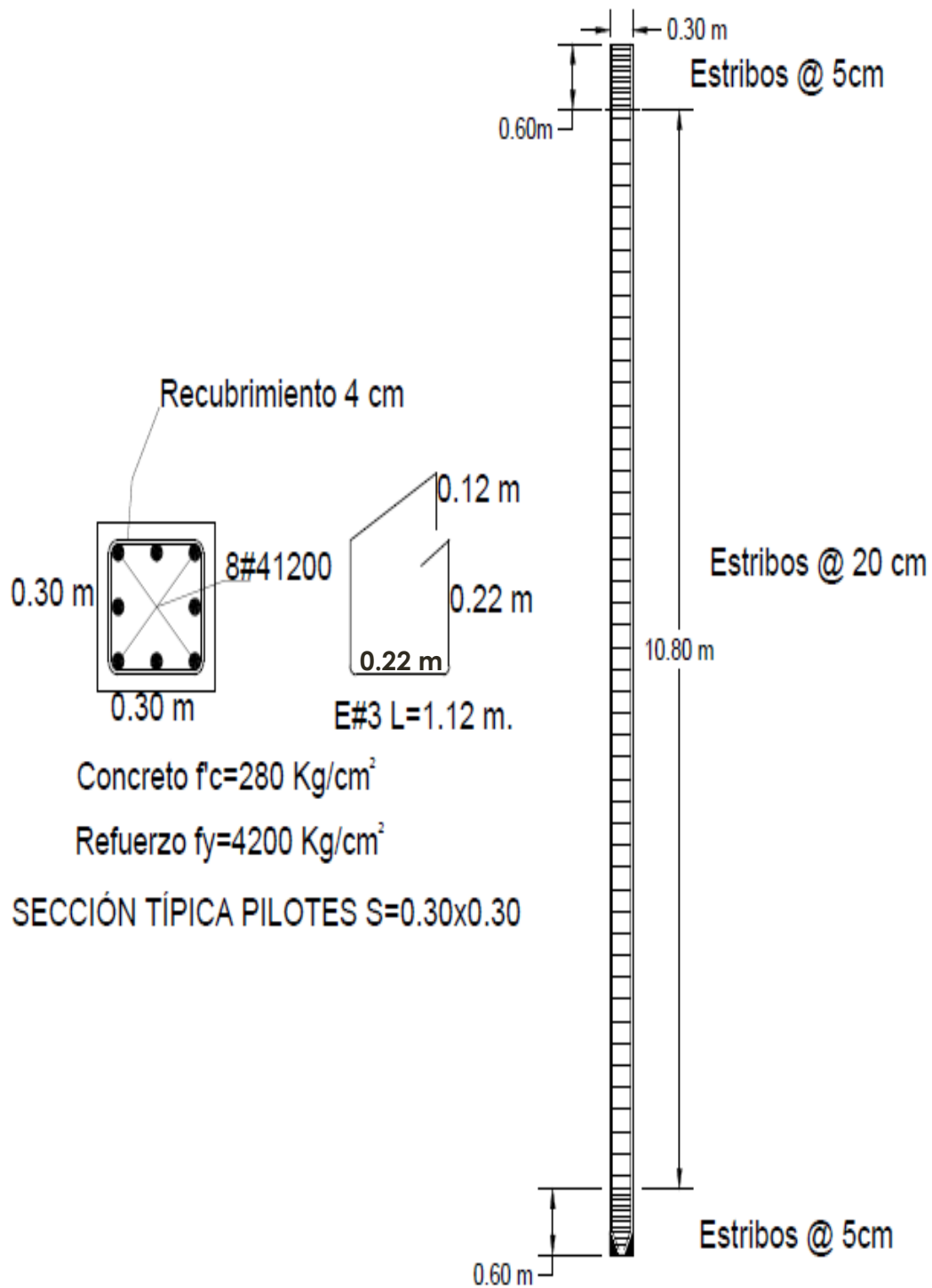
³⁵ Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título C – Concreto Estructural: Capítulo C.15.11.5.4 – Pilotes prefabricados de concreto reforzado. Bogotá: 2010. p C-296.

Tabla 9 Geometría de las secciones.

ANÁLISIS DE PILOTAJE CUADRADO Y CIRCULAR DE ACUERDO A EL ÁREA LATERAL (FRICCIÓN)															
		PILOTES HINCADOS CUADRADOS L= (cm)							PILOTES PREEXCAVADOS CIRCULARES D= (cm)						
		20	25	30	35	40	45	50	30	40	50	60	70	80	90
ÁREA TRANSVERSAL.	m ²	0,04	0,06	0,09	0,12	0,16	0,20	0,25	0,07	0,13	0,20	0,28	0,38	0,50	0,64
MASA	kg/m	96	150	216	294	384	486	600	170	302	471	679	924	1206	1527
ÁREA LATERAL	m ² /m	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	0,94	1,26	1,57	1,88	2,20	2,51	2,83
		FLEJE O ESTRIBO													
Lado	m	0,13	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43							
Longitud	m	0,72	0,92	1,12	1,32	1,52	1,72	2,02							
Varilla	#	3	3	3	3	3	3	3							
		REFUERZO LONGITUDINAL							REFUERZO LONGITUDINAL						
varilla	#	4	5	4	5	6	6	6	4	5	6	6	7	7	8
	Cant.	4	4	8	4	4	8	4	6	7	7	6	6	8	8
varilla	#				4	5		5				5	6	6	7
	Cant.	0	0	0	4	4	0	8	0	0	0	6	6	7	6

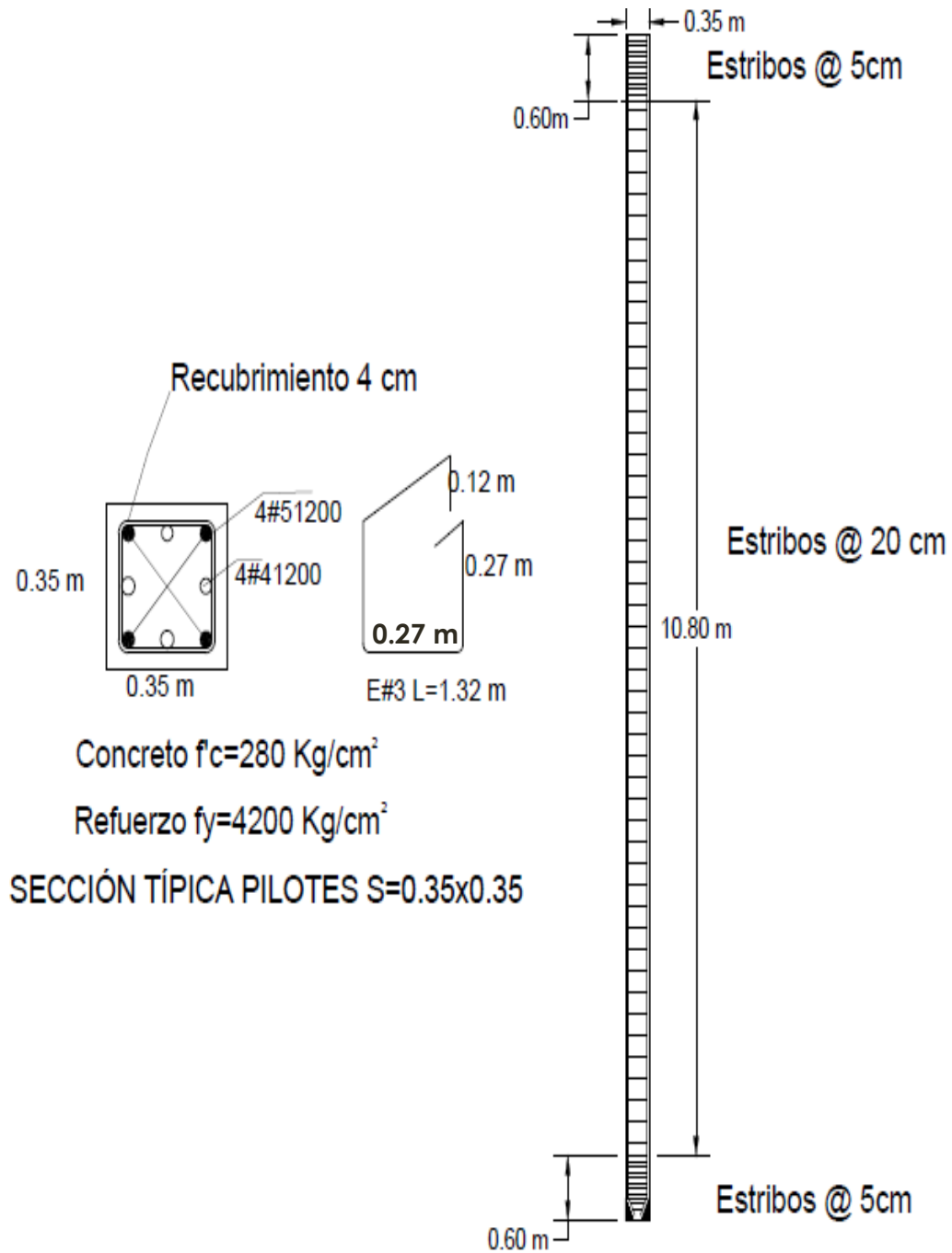
Fuente: Autores, 2015 Elaboración de presupuestos.

Figura 9 Pilote prefabricado sección 30x30 cm.



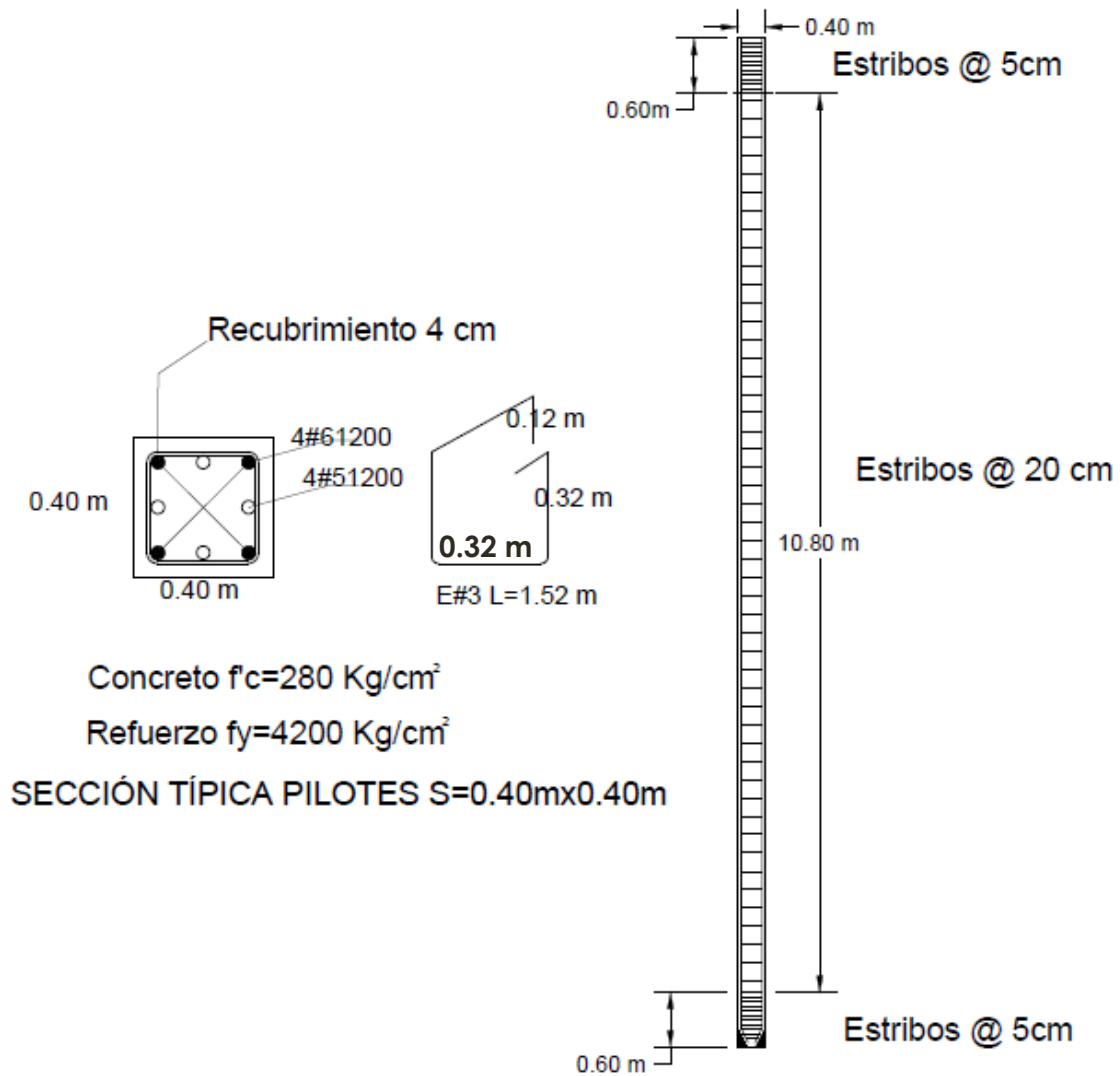
Fuente: Autores

Figura 10 Pilote prefabricado sección 35x35 cm.



Fuente: Autores.

Figura 11 Pilote prefabricado sección 40x40 cm.



Fuente: Autores

7.3 Tipos de sistemas de pilotaje hincado. Pilotes hincados a presión

Son elementos prefabricados de sección cuadrada, reforzados o pretensados, que se instalan por hinca a presión mediante una máquina piloteadora marca Sunward (ficha técnica tabla 10) directamente en el terreno sin excavación y dependiendo la profundidad se usan varios elementos uniéndolas con juntas metálicas mecánicas para garantizar su continuidad.³⁶

Tabla 10 Ficha técnica de máquina piloteadora Sunward.

MODELO	ZYJ240	
FUERZA MAXIMA DE HINCA	240 T (2400 KN)	
VELOCIDAD MAXIMA DE HINCA	6.52 M / MIN	
VELOCIDAD MINIMA DE HINCA	0.76 M / MIN	
PRESION MAXIMA DEL CIRCUITO HIDRAULICO	23.2 MPA	
VELOCIDAD DE TRASLACION (ADELANTE)	5.24 M / MIN	
VELOCIDAD DE TRASLACION (ATRÁS)	10.27 M / MIN	
VELOCIDAD DE ROTACION (IZQ)	5.24 M / MIN	
VELOCIDAD DE ROTACION (DERECHA)	8.93 M / MIN	
LONG. ELEMENTOS DEL PILOTE	13.40 MTS	
CAPACIDAD DE LA MORDAZA (MAX) CIRCULAR	D= 50 CM	
CAPACIDAD DE LA MORDAZA (MAX) CUADRADA	L= 50M CM	
PRESION MAXIMA SOBRE EL SUELO	10 TON. / M2	
SISTEMA ELECTRICO	220V - 198A - 60H2	
DIMENSIONES (L-A-H)	12 - 6.20 -3-12 MTS	
MASA DE LA MAQUINA (SIN CONTRA PESOS)	102 TON 6%	
MASA MAXIMA DE LA MAQUINA (CON CONTRAPESO)	244 TON.	
GRUA		
CAPACIDAD MAXIMA DE LA GRUA	8 TON.	
MOMENTO MAXIMO ADMISIBLE	26 TON. - M	
PRESION SISTEMA HIDRAULICO	16 MPA	

Fuente: <http://www.soletanche-bachy.com.co/web/detalle-soluciones/detalle/pilotes-hincados-bd8> [consultado 17 abr., 2017].

Nota: La tabla anterior está acorde las condiciones técnicas originales de la máquina que es de origen chino o alemán, tendrá que ser convertida al sistema internacional de unidades. Sl.

³⁶ Soletanche Bachy Cimas. Tipos de pilotaje prefabricado [citado 06 abr., 2017] Disponible en: <http://www.soletanche-bachy.com.co/web/detallecategoria/solutions/0a7>

Figura 12 Pilotaje hincados a presión.

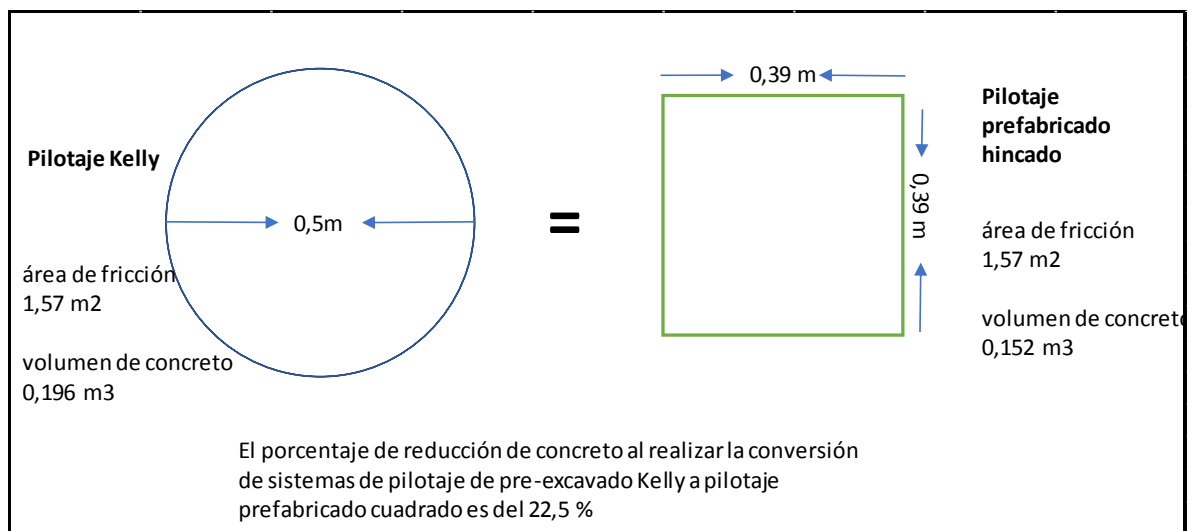


Fuente: <http://www.soletanche-bachy.com.co/web/detalle-soluciones/detalle/pilotes-hincados-a-presion-6d4> [consultado 17 abr., 2017], cortijo Bogotá 2014.

7.4 Características Comparativas.

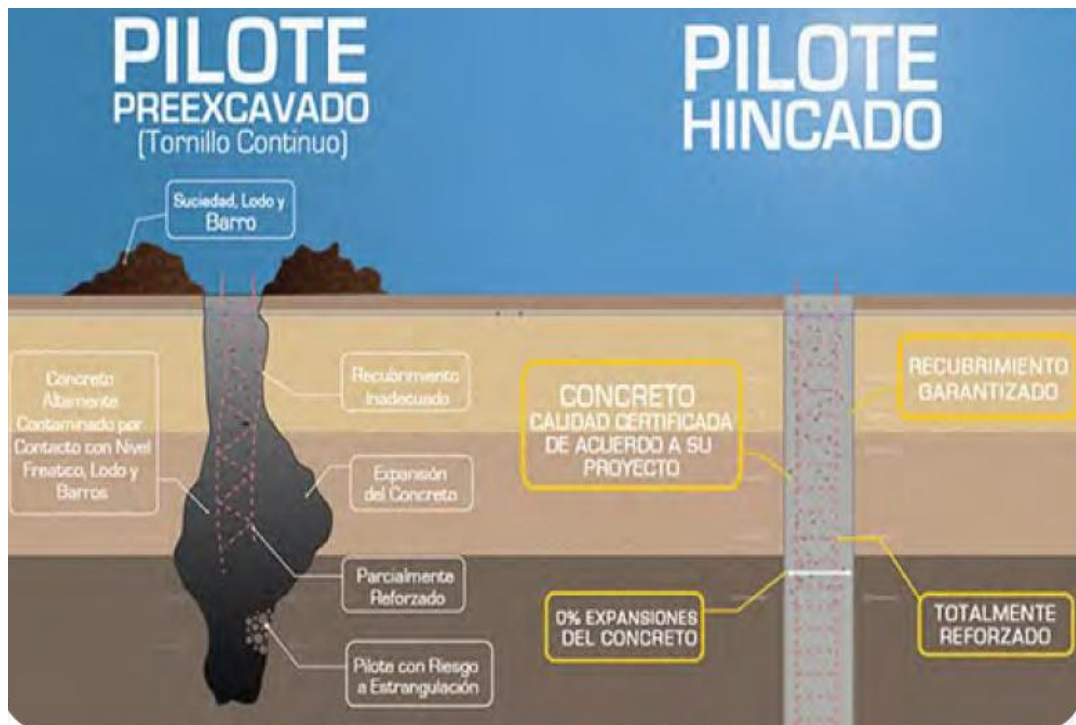
Comparación del sistema de pilotaje pre-excavado tipo Kelly $D=0,50\text{m}$ y el sistema de pilotaje hincado prefabricado cuadrado $S=0,39\text{m}$.

Figura 13 Comparación de los sistemas de pilotaje de acuerdo con su geometría.



Fuente: Autores.

Figura 14 Comparación del sistema de pilotaje pre-excavado tipo tornillo y el sistema de pilotaje hincado prefabricado cuadrado.



Fuente: Portafolio Empres COEX Pilotaje Bogotá.

La figura 14, Es la forma más sencilla de presentar, que tiene la empresa COEX. En su portafolio muestra la comparación de los elementos generales que diferencian el sistema de pilotaje hincado a presión con los tradicionales pilotes pres excavados, precisando los aspectos más importantes que generan beneficio al utilizar el pilotaje hincado a presión.

PASO 4.

ANÁLISIS FINAL PILOTAJE DEL PILAR DEL MONORRIEL.

8. Proceso constructivo del pilotaje prefabricado en concreto hincado a presión.

El sistema de pilotes prefabricados en concreto hincados a presión proporciona un sistema de cimentación eficiente para la transferencia de las cargas de la estructura a los estratos competentes.

Este tipo de pilotes permite además su utilización para compactar el suelo granular, aumentando su capacidad portante.

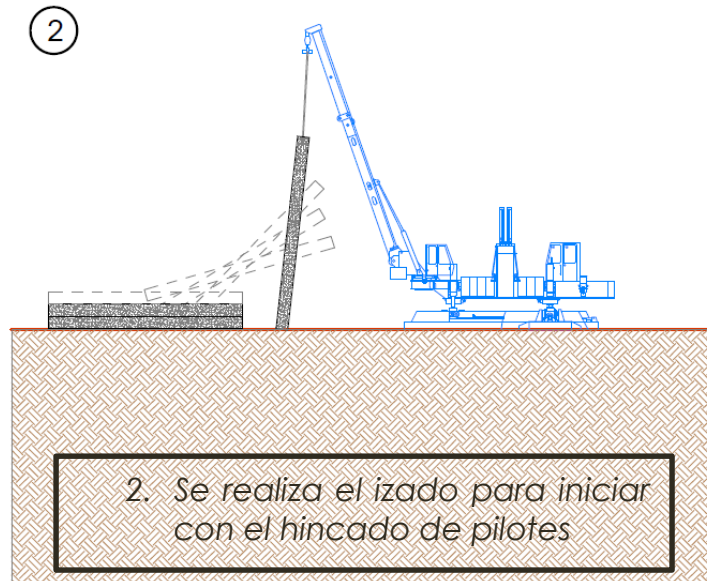
A continuación, se describe el proceso constructivo de hinca de pilotes prefabricados en concreto a presión

8.1 Descarga y acopio de pilotes prefabricados en concreto en obra.



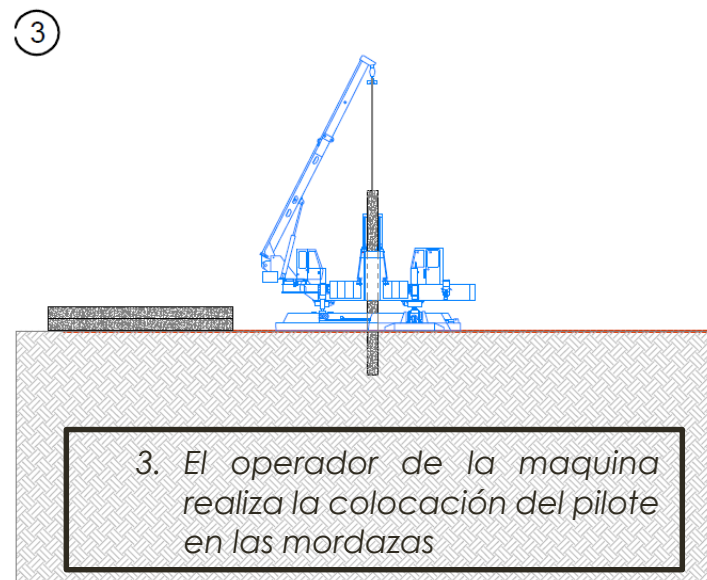
Fuente: Autores

8.2 Izado de pilotes para iniciar el proceso de hinca.



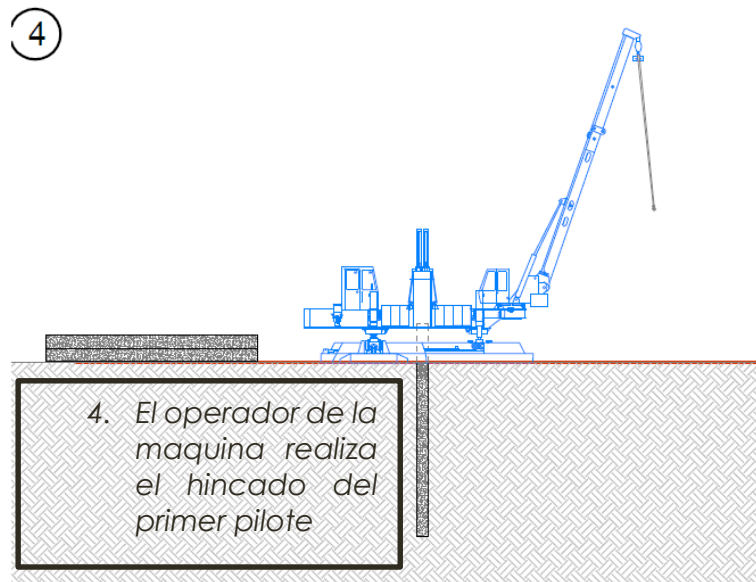
Fuente: Autores

8.3 Colocación de pilote en las mordazas de la piloteadora.



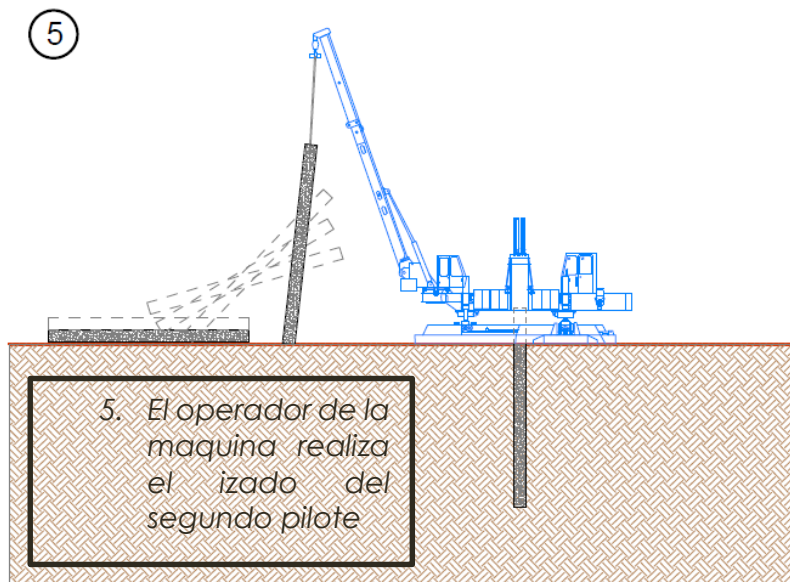
Fuente: Autores

8.4 Hinca del primer elemento del pilote prefabricado en concreto.



Fuente: Autores

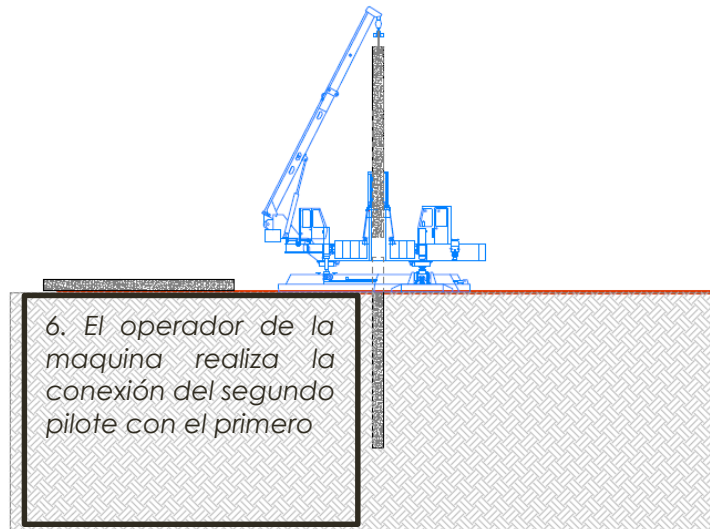
8.5 Izado del segundo elemento del pilote para continuar el hincado.



Fuente: Autores

8.6 Conexión del primer elemento con el segundo elemento del pilote prefabricado en concreto mediante junta mecánica soldada.

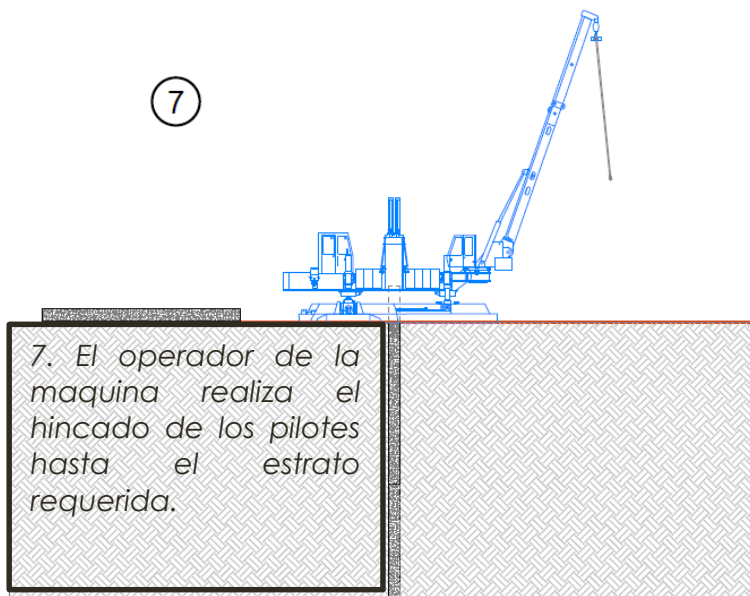
6



Fuente: Autores

8.7 Hinca del pilote prefabricado en concreto hasta la profundidad requerida.

7



Fuente: Autores

9. Seguridad y Salud en el trabajo.

Para la realización de las actividades generales de protección es de obligatorio el uso de los (EPP) elementos de protección personal y estar afiliado al sistema de salud y ARL.

9.1. Elementos generales de protección.

En la tabla 11 se muestra la relación orientativa de Equipos de protección individual a utilizar.

Tabla 11 Factores de riesgo y equipos de protección individuales en el proceso de hincado.

Riesgo / Factor de riesgo	Actividad / Tarea	Equipos de protección individual más usuales
		Uso específico
Caídas a distinto nivel.	Cimentaciones profundas / perforación de pilotes y medición de profundidad excavación.	Equipo anticaída (Arnés, fijaciones, eslinga, mosquetones, etc.), en aquellos casos en que se justifique técnicamente la imposibilidad utilizar protecciones colectivas o cuando la protección colectiva no evite el riesgo de caída.
Proyección de partículas.	Descabezado manual de pilotes.	Pantalla anti-proyecciones y anti-impactos.
	Preparación de lodos bentoníticos.	Gafas anti-polvo.
	Corte de armaduras con radial.	Gafas anti-proyecciones.
	Corte de armaduras por oxicorte .	Pantalla facial de soldador.
Inhalación de polvo bentonítico.	Preparación de lodos bentoníticos.	Mascarilla antipolvo FFP2.
Ruido.	Hincado y perforación de pilotes.	Protectores auditivos.
Presencia de lodos.	Utilización de lodos bentoníticos.	Guantes de goma impermeables.
		Botas impermeables con puntera y plantilla.
Quemaduras.	Corte de armaduras por soldadura.	Guantes y mandil de cuero para soldadura.
	Soldadura de barras en solapes de armaduras de pilotes.	

Fuente: tomado de <http://www.lineapreencion.com/ProjectMiniSites/Video5/html/cap-2/db-prl-ci/seccion-2-cim-prof-pilotajes/seccion2cimprofpilotajes.html> [consultado el 5 abr 2017].

9.2. Procedimientos de seguridad para los procesos que intervienen en el hincado.

Durante la hinca, se debe restringir el acceso de personal a la zona de acción de la máquina, mediante señalización y delimitación de la zona afectada.

La hinca o introducción en el terreno se tiene que realizar hasta obtener rechazo o bien hasta alcanzar la profundidad establecida en el proyecto. En las comprobaciones de rechazo se parará la máquina.

En aquellos casos en que fuese necesario realizar el empalme de dos pilotes, se pararán los trabajos y el dispositivo de hincado de la máquina, para posibilitar el posicionado del nuevo pilote. En todo momento se debe mantener comunicación continua con el operador de la máquina.

10. Consideraciones Generales Ambientales.

- Con el sistema de pilotaje hincado a presión hidráulica se cumplen condiciones ambientales favorables.
- No se perfora el suelo.
- No se utiliza bentonita que es altamente perjudicial en los suelos.
- No genera barro ni suciedad en obra.
- No se utiliza agua para el proceso.
- No habrá movimiento de transporte retirando material de excavaciones y transporte de concreto en mixer.
- Con el hincado de pilotes se genera una densificación del suelo aumentando su capacidad portante.

11. Recomendaciones.

11.1 Fabricación de los pilotes prefabricados en concreto en obra.

Los organizadores de obra deberán tener presente la relación y especificaciones de los elementos prefabricados teniendo los planos donde indiquen los detalles de los elementos, los aspectos relacionados para la fabricación de los elementos en obra y considerar las siguientes condiciones:

- Analizar las características y particularidades del sitio de obra.
- Conocer los espacios e instalaciones disponibles que faciliten su maniobra de fabricación y movilización de materiales.
- Contar con recursos disponibles como son las grúas auxiliares para realizar los izados de materiales y de los elementos finales.

La fabricación en obra es de gran ventaja desde un punto de vista económico y de avance en tiempo de fabricación y transporte a la obra de los elementos,³⁷

11.2 Almacenamiento y maniobras de pilotes prefabricados en concreto en obra.

El almacenamiento de los elementos prefabricados debe ser cerca al punto de fabricación para evitar traslados después de fabricado, el único traslado del elemento prefabricado deberá ser desde el punto de almacenamiento hasta el punto donde se hincará el pilote.³⁸

³⁷ CAPOTE ABREU, Jorge A. Tecnología de la prefabricación en la construcción. *En: indicadores para el montaje de elementos prefabricados [en línea].* España: UNIVERSIDAD DE CANTABRIA [citado 07 abr., 2017]. Disponible en: <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/civil/prefabricacion/pub/file/indicaciones%20para%20montaje%20de%20elementos%20prefabricados.pdf>

³⁸ CAPOTE ABREU. Op. Cit., p. 06

11.3 Normatividad.

Tabla 12 Tabla de normatividad vigente.

Norma	Objetivo
NTC 121.	Especificación de desempeño para cemento hidráulico.
NTC 174.	Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto (ASTM C33).
NTC 1299.	Concretos. Aditivos químicos para concreto. (ASTM C494/C494M).
NTC 1362.	Cemento hidráulico blanco
NTC 3459.	Concretos. Agua para la elaboración de concreto.
NTC 153.	NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC DE 153/16 Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural (ASTM C90).
NTC 3493.	Ingeniería civil y arquitectura. Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Portland (ASTMC618).
NTC 3495.	Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería (ASTM C1314).
NTC 3502.	Ingeniería Civil y Arquitectura. Aditivos incorporados de aire para concreto (ASTM C260).
NTC 3760.	Ingeniería Civil y Arquitectura. Concreto coloreado integralmente. Especificaciones para pigmentos. (ASTM C979).
NTC 4018.	Ingeniería Civil y Arquitectura. Escoria de alto horno granulada y molida para uso en concretos y morteros (ASTM C989).
NTC 4024.	Prefabricados de concreto. Muestreo y ensayo de prefabricados de concreto no reforzados, vibro compactados (ASTM C140).
NTC 4026.	Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural (ASTM C90).
NTC 4072.	Ingeniería civil y arquitectura. Determinación de la contracción lineal por secado en unidades (bloques y ladrillos) de concreto para mampostería (ASTM C426).
NTC 4383.	Ingeniería civil y arquitectura. Mampostería de concreto. Términos y definiciones.
NTC 4924.	NTC 4924, Prefabricados de concreto. Agregados livianos para unidades de mampostería de concreto (ASTM C331/C331M).
NTC 4925.	NTC 4925, Prefabricados de concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción diagonal (cortante) en muretes de mampostería (ASTM E519).
NTC-ISO 80000-1	Cantidades y unidades. Parte 1: Generalidades.
ASTM C595.	Specification for Blended Hydraulic Cements.
ASTM E72.	Method for Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction.
NSR-10.	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente
CCP-14	Norma colombiana de Diseño de Puentes.

Fuente propia: compilación de las normas generales relevantes en procesos y elaboración de estructuras de concreto, cimentaciones relacionadas con la producción de pilotes prefabricados, el seguimiento de calidad y la obra civil.