



GUÍA PARA HINCADO A PRESIÓN DE PILOTES PREFABRICADOS DE  
CONCRETO REFORZADO EN CIMENTACIÓN PROFUNDA, CON BASE EN  
REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN  
SISMO RESISTENTE (NSR 10).

ADOLFO ENRIQUE MARTÍNEZ DÍAZ.  
MILTON FREDY RODRÍGUEZ ROA.

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA.  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.  
BOGOTÁ D.C. COLOMBIA.

2017

GUÍA PARA HINCADO A PRESIÓN DE PILOTES PREFABRICADOS DE  
CONCRETO REFORZADO EN CIMENTACIÓN PROFUNDA, CON BASE EN  
REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN  
SISMO RESISTENTE (NSR 10).

ADOLFO ENRIQUE MARTÍNEZ DÍAZ

Monografía de Investigación para optar al título de Ingeniero Civil.

MILTON FREDY RODRÍGUEZ ROA

Participo de la monografía de investigación.

Director

ING.Ph.D. HERNÁN CARVAJAL OSORIO

Asesor Disciplinar

LIC. Ms. BIBIANA CAROLINA GÓMEZ SALGADO.

Asesora Metodológica

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA.

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

BOGOTÁ D.C. COLOMBIA

2017.

**NOTA DE ACEPTACIÓN.**

Observaciones.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director del trabajo de grado.

---

Firma del Jurado.

---

Firma del Jurado.

Bogotá D.C., noviembre de 2017.

Dedicada a nuestras familias, amigos y docentes, en especial al Ingeniero Hernán Carvajal por motivar el camino de la investigación... A este país que requiere, que construyamos conocimiento...

Los Autores expresan sus agradecimientos a:

Quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme culminar esta etapa.

Agradezco a mis padres Gloria y Misael, a mis hermanas Marcela, Patricia y Ana María que siempre me motivaron y me dieron ese empujón para iniciar una nueva etapa y a aquellas personas que me brindaron incondicionalmente su apoyo y siempre me motivaron para realizar esta meta y me acompañaron en este gran proceso.

A la Línea de Investigación.

A mi madre Fabiola roa y a mi Esposa Luz Dary Gómez, por su apoyo incondicional en las diferentes dificultades por las que atravesó esta investigación.

A Nicol mi hija que es uno de mis motores y mi mayor inspiración.

A Laura por su cariño y acompañamiento en noches largas.

A Jesús Rengifo por su amistad y colaboración en la construcción de este proyecto.

Al Profesor Carvajal por su orientación y apoyo con aportes fundamentales para la tesis.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron para la realización de este trabajo.

## **LISTA DE CONTENIDO.**

<b>LISTAS ESPECIALES. ....</b>	<b>10</b>
LISTAS DE TABLAS.....	10
LISTAS DE FIGURAS. ....	10
LISTAS DE IMÁGENES. ....	10
<b>1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. ....</b>	<b>15</b>
<b>2 ANTECEDENTES.....</b>	<b>17</b>
2.1 GUÍAS EN INGENIERÍA CIVIL.....	17
2.2 GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN. ....	18
2.3 GUÍA EQUIPOS DE HINCA DE PILOTES. ....	19
2.4 GUÍA DE SOLUCIONES PROCESOS CONSTRUCTIVOS SIKA 2017. ....	21
2.5 OBRAS DE MOVILIDAD EN BOGOTÁ D.C. CON PILOTES HINCADOS A PRESIÓN. ....	22
2.6 MONORRIEL EN EL MUNDO. ....	26
2.7 ANTECEDENTES DEL TRANVÍA DE BOGOTÁ. ....	26
<b>3 JUSTIFICACION. ....</b>	<b>30</b>
<b>4 OBJETIVOS. ....</b>	<b>32</b>
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	32
4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	32
<b>5 MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>33</b>
5.1 MARCO CONCEPTUAL.....	33
5.1.1 Monorriel.....	33
5.1.2 ventajas y desventajas del monorriel.....	34
5.1.3 Experiencia.....	38
5.1.3.1 Monorrieles en Shonan, Japón.....	39
5.1.3.2 Monorriel en Sídney, Australia. ....	40

5.2 MARCO TEORICO.....	41
5.2.1 Cimentaciones profundas – pilotaje.....	41
5.2.2 Pilotes prefabricados hincados.....	44
5.2.2.1 Ventajas e inconvenientes pilotes hincados.....	45
5.2.3 Pasos para el diseño de pilotes.....	47
5.2.3.1 Capítulos que tienen injerencia en el diseño pilotes (NSR 10).....	47
5.2.3.2 Capacidades de carga última de un pilote en diferentes tipos de suelos.....	50
5.2.3.3 Capacidades de carga última de un pilote: .....	50
5.2.3.4 Capacidades de carga admisible de un pilote.....	51
5.2.3.5 Fricción negativa .....	51
5.2.4 Capacidad de carga de grupos de pilotes. ....	53
5.2.5 Diseño para suelos.....	53
5.2.5.1 Suelos granulares. ....	53
5.2.6 suelos cohesivos. ....	54
5.2.7 Pilotes de fricción o punta.....	55
5.2.7.1 Longitudes de pilotes cercanos.....	56
5.2.8 Asentamiento de pilotes y grupos de pilotes. ....	56
5.2.9 Ensayo de carga en pilotes. ....	58
5.2.9.1 Ensayo de Carga.....	60
5.2.9.2 Método sónico.....	61
5.2.9.3 Formas y tipos de aplicación de carga.....	62
5.2.10 Procedimientos de carga.....	65
5.2.11 Criterios de carga de falla.....	65
5.2.12 Ensayo Dinámico.....	65
5.2.12.1 Sensores uso e instalación para estudios de pilotes.....	66

Información que se obtiene con el Ensayo Dinámico.....	66
Ensayo Dinámico en pilotes hincados.....	67
Ensayo Dinámico resultados inmediatos. ....	67
Ensayo Dinámico y la capacidad de carga estática. ....	67
Ensayo Dinámico usado en cualquier tipo de pilote.....	68
Tipo de martillo usado.....	68
Normas sobre el Ensayo Dinámico .....	68
Ensayo Dinámico vs Estático.....	68
5.2.13 Documento técnico para pilotes hincados a presión. ....	70
5.2.14 lista de condiciones para hacer el hincado de pilotes en obra.....	71
5.2.15 Especificaciones de pilotes.....	75
5.3 MARCO GEOGRAFICO.....	76
5.4 MARCO JURIDICO.....	76
<b>6 DISEÑO METODOLOGICO.....</b>	<b>76</b>
6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	76
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	77
6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	77
6.3.1 Población.....	77
6.3.2 Muestra.....	77
6.4 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	78
6.4.1 (Dependientes, independientes, intermedias).....	78



6.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN. ....	78
6.6 FASES DE INVESTIGACIÓN. ....	78
6.7 CRONOGRAMA. ....	79
6.8 PRESUPUESTO.....	80
<b>7 RESULTADOS Y ANÁLISIS. ....</b>	<b>81</b>
ANEXO 1: GUÍA PARA HINCADO A PRESIÓN DE PILOTES PREFABRICADOS DE CONCRETO REFORZADO, EN CIMENTACIÓN PROFUNDA, CON BASE EN REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10).....	81
<b>8 CONCLUSIONES. ....</b>	<b>82</b>
<b>9 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>10 REFERENCIAS. ....</b>	<b>84</b>
<b>11 ANEXOS.....</b>	<b>87</b>

## LISTAS ESPECIALES.

### LISTAS DE TABLAS.

<b>Tabla 1.</b> Guías en Colombia para diferentes áreas de la Ingeniería Civil. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Obras Pilotaje Hincado a Presión. ....	25
<b>Tabla 3.</b> Ventajas del monorriel. ....	34
<b>Tabla 4.</b> Desventajas del monorriel con relación a otros sistemas de transporte. .	35
<b>Tabla 5.</b> Capacidad de carga y longitud de hincado. ....	69

### LISTAS DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Ubicación Puente Calle 92 Bogotá, Colombia. ....	24
<b>Figura 2.</b> Casos donde pueden necesitarse pilotes. ....	46
<b>Figura 3.</b> Distribución asumida de la fricción negativa. ....	52
<b>Figura 4.</b> Distribuciones de carga para grupo de pilotes por fricción. ....	55
<b>Figura 5.</b> Distribuciones de carga para grupo de pilotes por punta. ....	56
<b>Figura 6.</b> Transferencia de carga. ....	57
<b>Figura 7.</b> Capacidad de carga. ....	58
<b>Figura 8.</b> Capacidad de carga de diferentes tipos de pilotes. ....	61
<b>Figura 9.</b> Ensayo Estático. ....	63
<b>Figura 10.</b> Ensayo Sónico con martillo. ....	64
<b>Figura 11.</b> Pilotes fundidos en sitio con el sistema tremí o balas herméticas. ....	75

### LISTAS DE IMÁGENES.

Imagen 1. Guía técnica de construcción prefabricados. ....	19
Imagen 2. Guía técnica Pilotes prefabricados. ....	20
Imagen 2. Portada guía equipos de hinca de pilotes. ....	21
Imagen 3. Portada guía de soluciones SIKA 2017. ....	22

Imagen 4. Puente tercer nivel calle 92.....	23
Imagen 5. Wuppertaler Schwebebahn.....	26
Imagen 6. Recorrido del tren 1951 en Bogotá. ....	27
Imagen 7. Tranvía con sus Rutas en Bogotá.....	28
Imagen 8. Tranvía abierto de 8 ruedas y 12 escaños en la Carrera 7 en 1946. ....	29
Imagen 9. Monorriel Vista Frontal sistema general.....	37
Imagen 10. Monorriel y su estructura general.....	38
Imagen 11. Monorriel Shonan, Japón.....	39
Imagen 12. Monorriel Sídney, Australia.....	40
Imagen 13. Localización nueva Aeropuerto el Dorado II. ....	41
Imagen 14. Torre latinoamericana. ....	42
Imagen 15. Estadio Nemesio Camacho “el campin”. ....	43
Imagen 16. Formula Meyerhof.....	54
Imagen 17. Aplicación Carga pilote. ....	66
Imagen 18. Piloteadora a presión. ....	70
Imagen 19. Especificaciones técnicas de la piloteadora.....	71
Imagen 20. Izado de pilotes prefabricados. ....	73
Imagen 21. Ubicación del pilote según planos y topografía.....	74
Imagen 22. Hincado a presión. ....	74

## INTRODUCCIÓN.

Este documento presenta una propuesta que nació con base en una monografía de investigación del Ingeniero Jesús Rengifo y la Ingeniera Camila Moreno de esta Facultad: *“El monorriel como alternativa de interconexión entre los aeropuertos El Dorado I y El Dorado II y el Centro Internacional de Bogotá”*, la cual indicó la necesidad de atender debidamente la situación de cimentación profunda debido a la calidad de los suelos allí descritos. Para atender dicha situación se consideró para este trabajo la alternativa de utilizar pilotaje para las bases del monorriel referido. Así, se trata aquí dicha necesidad desarrollando una Guía dedicada en detalle sobre la posible aplicación de la tecnología basada en pilotes prefabricados de concreto reforzado hincados a presión; un sistema en uso actualmente en Colombia y en el exterior. Sin embargo, no existía información suficiente al respecto, por lo que se decidió atender esta necesidad con la propuesta que aquí se presenta.

Es importante este tema debido a que el crecimiento de la ciudad de Bogotá y el incremento de visitantes de la misma, hacen indispensable que se desarrollen propuestas innovadoras para atender el crecimiento de la población reciente e itinerante de Bogotá y su actividad industrial, comercial y turística, en este caso con posibles soluciones a la problemática de movilidad. Las proyecciones que tienen del Estado colombiano es construir el Aeropuerto El Dorado II, aproximadamente para el 2020, debido al incremento importante de usuarios que está experimentando el actual Aeropuerto El Dorado I. Se previó por parte de la Aeronáutica Civil un aumento considerable del flujo de pasajeros que entre y salga de la ciudad por vía aérea, con demanda del tipo de la modalidad de transporte público para incorporarlos al entorno urbano. Esta conexión entre los Aeropuertos el Dorado I y El Dorado II y la ciudad, deberá contar con soluciones que sean parte de un sistema integral efectivo de transporte, para unir el centro de la ciudad a sus aeropuertos.

Es de anotar que el Centro Internacional de Bogotá D.C., promete ser un lugar de interconexión modal para el transporte, el comercio y el turismo, por lo que se tuvo en consideración especial en el proyecto arriba mencionado como punto principal de origen/destino de los pasajeros por vía aérea. Esto dio origen en este proyecto que aquí se describe a la consideración del pilotaje mencionado como opción para el tipo de suelos que se presentan en la posible vía que utilizaría dicho monorriel.

Así, lo indicado por el texto anterior condujo al enfoque inicial de este proyecto, de atender apropiadamente la necesidad futura de un posible de un sistema de transporte masivo que ha sido exitoso en varios lugares del mundo como Brasil, Alemania, Japón y Australia. El monorriel es una forma de transportar a la gente de manera rápida, cómoda, asequible y amigable con el medio ambiente. Este sistema en particular permite que la obra civil sea elevada, limpia y de relativa fácil construcción en comparación con otros sistemas de transporte masivo; a su vez, exigiendo bases y cimientos apropiados bajo normas técnicas de obligatorio cumplimiento principalmente por los esfuerzos que se puedan generar, incluyendo los de origen sísmico.

Dentro de la propuesta del monorriel del proyecto antes indicado, se indicó la importancia de contar con cimentación profunda de los pilares de la estructura requerida. El sistema de monorriel consiste básicamente en una viga principal horizontal de concreto o acero que hace de guía para el desplazamiento del vehículo, sostenida por unos pilares a determinada altura y longitud de espacio entre ellos; soportes en concreto reforzado como diseño común dentro de las estructuras mencionadas para el monorriel, así como para líneas de cable, puentes y sistemas metro; por lo que no implican diseños de gran complejidad, incluyendo la cimentación profunda de estos. En este trabajo no elaboraremos diseño estructural, ni geotécnico de la misma, puesto que el resultado se centra en los pilotes prefabricados acerca de los cuales se consideró era necesario contar una guía especial para su utilización con dicho fin. Aunque existen otros sistemas de pilotaje más convencionales, sin embargo, direccionamos la investigación a los pilotes prefabricados hincados a presión por sus características de ser un sistema moderno, limpio, organizado y, principalmente, amigable con el medio ambiente, así como de menor costo y mayor rendimiento en obra civil para la cimentación mencionada.

Se centrará este documento en hacer inicialmente una recopilación de información relacionada, que dará soporte a la organización de una serie de pasos que se deben tener en cuenta a la hora de hacer pilotaje hincado a presión, como posibilidad de cimentación profunda para los pilares que requeriría un sistema de monorriel.

Al final del documento se presenta, como resultado, una guía especial sobre los pilotes prefabricados hincados a presión, el cual plasma los elementos detallados y debidamente organizados que hacen parte de todo el proceso que integra requisitos de fabricación, manipulación y su hincado para cimentación profunda.

Este trabajo de grado se realizó con base en estudios de suelos hechos para otras obras existentes dentro y cerca del recorrido propuesto para el monorriel propuesto en el proyecto arriba indicado, para contar así con la experiencia de empresas especializadas en el uso de este sistema de pilotes prefabricados, además teniendo en cuenta como soporte la normatividad que debe ser aplicada en estos casos, principalmente, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10.

## **1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

La ingeniería civil en el mundo representa el desarrollo de diferentes obras de pequeña y gran envergadura, con un alto grado de complejidad. Este aspecto hace que esta profesión, se encuentre inmersa en la sociedad, para dar solución a problemas, que mejoren la calidad de vida de las personas. Es por esta razón que cada proceso que integra un proyecto hoy en día, en pleno Siglo XXI, debe tener un alto grado de calidad, debe ser claro y apegado a las normas que lo rigen.

En este camino, los conceptos técnicos que hacen parte de la cadena de procesos son fundamentales y es evidente que muchos de estos pasos se realizan según las normas Internacionales y otras que se han venido adaptando en el país. Podemos evidenciar que la elaboración de documentos técnicos propios es limitada, por esta razón, la presente investigación se hace necesaria debido a los vacíos conceptuales del manejo de equipos de hincado a presión y los soportes técnicos y teóricos en el tema de cimentaciones profundas con pilotes prefabricados hincados a presión, no hay documentos actualizados de los procesos en suelos de Bogotá, que relacionen los sistemas de pilotajes prefabricados hincados a presión, que sean efectivos, dando soluciones rápidas, sencillas en diferentes proyectos de construcción, mejorando así la logística y los pasos de la labor en la primera etapa de la obra civil. El soporte técnico de la actividad constructiva, especialmente en concreto que está muy ligado a, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR 10). Para que tengan una base normativa que lleve a las empresas, ingenieros y constructores, a unificar criterios y desarrollar acciones que mejoren la ejecución de todos los proyectos.

La opción de los pilotes prefabricados hincados a presión, que son denominados pilotes de desplazamiento, debido a que en el sistema constructivo no se extrae material, sino que al hincar los pilotes prefabricados se realiza un desplazamiento lateral del terreno. Este sistema de pilote prefabricado hincado a presión es una buena alternativa para las cimentaciones de estructuras como el monorriel y para terrenos blandos, funcionando como pilotes columna y transmitiendo las cargas en punta a una capa lo suficientemente firme para aguantar la sollicitación, sin que sufra alguna rotura del estrato y en cambio la hinca del pilote genere una mejora a las características propias del mismo.

Este contexto refleja la falta de información del tema a tratar, porque para la mayoría de empresas, solo está la posibilidad de utilizar otros sistemas de cimentación profunda diferentes del hincado a presión, debido a la falta de documentación y conocimiento de estas nuevas propuestas de trabajo en cimentación profunda. Las diferentes industrias y áreas de la ingeniería han desarrollado guías en los temas que corresponden a sus acciones y labores, que hacen parte de una estructura, se ha evidenciado que en este tema no se encuentran guías de pilotaje hincado a presión.

El sistema de hincado a presión está en el país hace 15 años, es novedoso el tema de pilotes prefabricados hincados a presión, porque no genera escombros, no necesita excavación, no requiere agua en su proceso de hinca, el rendimiento en la obra civil es mayor, la reducción de costos frente a los sistemas pre excavados puede ser del 15% neto, el cálculo de capacidad portante está definida de la misma forma que los otros tipos de pilotaje y los diferentes factores que afecten la cimentación.

La Guía que aquí se presenta puede considerarse como una herramienta de información inmediata, de acceso rápido en los procesos, para esta actividad, siendo de mayor relevancia porque no se han desarrollado estudios aquí en Colombia a profundidad del tema pilote prefabricado hincado a presión; por esta razón es un aporte a la labor ingenieril, para que tenga soporte documental para la acción que se quiera realizar en sistemas de pilotajes para cimentaciones de alta exigencia, que permita visualizar al ingeniero los requerimientos técnicos de la misma y su utilización..

¿Qué debe contener una guía para el proceso de hincado a presión de pilotes prefabricados, en cimentación profunda de los pilares del monorriel, con base en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR 10?



## 2 ANTECEDENTES.

### 2.1 GUÍAS EN INGENIERÍA CIVIL.

Estas son algunas de las entidades públicas o privadas, que han desarrollado guías en especialidades propias de la ingeniería civil y de acuerdo a la experiencia de cada una. **Tabla 1.**

**Tabla 1.** Guías en Colombia para diferentes áreas de la Ingeniería Civil.

Institución	Ubicación referencia	Contenido
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC)	<a href="https://tienda.INCONTEC.org/wp-content/uploads/pdfs/gtc67.pdf">https://tienda.INCONTEC.org/wp-content/uploads/pdfs/gtc67.pdf</a>	Guía para la elaboración de costura y traslapes de geo textiles en campo
Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC)	<a href="https://tienda.INCONTEC.org/wp-content/uploads/pdfs/gtc67.pdf">https://tienda.INCONTEC.org/wp-content/uploads/pdfs/gtc67.pdf</a>	Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional
Instituto Nacional de Vías (INVIAS)	<a href="https://www.INVIAS.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/GUÍA-de-manejo-ambiental-de-proyectos/972-GUÍA-de-manejo-ambiental-subsector-maritimo-y-fluvial/file">https://www.INVIAS.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/GUÍA-de-manejo-ambiental-de-proyectos/972-GUÍA-de-manejo-ambiental-subsector-maritimo-y-fluvial/file</a>	Guía ambiental de proyectos subsector marítimo y fluvial
Departamento Nacional de Planeación (DNP)	<a href="https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/ambiente/1_doc_riesgos_GUÍA_ambiental.pdf">https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/ambiente/1_doc_riesgos_GUÍA_ambiental.pdf</a>	Guía ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal.
Ministerio del Trabajo	<a href="http://www.mintrabajo.gov.co/component/.../doc.../3511-GUÍA-de-escavaciones-09-feb.html">www.mintrabajo.gov.co/component/.../doc.../3511-GUÍA-de-escavaciones-09-feb.html</a>	Guía trabajo seguro en excavaciones 2014.

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU)	<a href="https://www.idu.gov.co/documents/2018/1/2121098/gu-ic-019_GUÍA_diseno_pavimentos_para_bajos_volúmenes_v1.pdf/de2dbabf-f5af-4937-8f95-ea1bfe4c3544">https://www.idu.gov.co/documents/2018/1/2121098/gu-ic-019_GUÍA_diseno_pavimentos_para_bajos_volúmenes_v1.pdf/de2dbabf-f5af-4937-8f95-ea1bfe4c3544</a>	Guía “diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.”
Instituto Nacional de Vías (INVIAS)	<a href="https://www.INVIAS.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-GUÍA-de-drenaje-para-carreteras/file">https://www.INVIAS.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-GUÍA-de-drenaje-para-carreteras/file</a>	Guía de Drenaje para carreteras
Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS)	<a href="https://www.asosismica.org.co/">https://www.asosismica.org.co/</a>	Guía Técnica para Inspección de Edificaciones Después de un Sismo

Fuente: Autores

## 2.2 GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN.

La evolución y el constante estudio de nuevos métodos para la construcción conllevan a la realización de diferentes guías técnicas, facilitando el entendimiento de nuevos productos e innovaciones que avanzan con el tiempo. Asocreto, es una de las grandes organizaciones colombianas en la búsqueda de herramientas de apoyo para los productores de cemento, concreto premezclado y agregados. Una guía de construcción, que facilita la búsqueda rápida de algún concepto, (**Imagen 1**) Acompañada de Imágenes que den claridad de los detalles y de fácil acceso para los usuarios.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Asocreto. GUÍA. [citado 17 abr., 2017] disponible en: [http://www.asocretovirtual.com/tienda-virtual/index.php?route=product/product&product\\_id=100](http://www.asocretovirtual.com/tienda-virtual/index.php?route=product/product&product_id=100)

**Imagen 1. Guía técnica de construcción prefabricados.**



Fuente: <http://www.asocretovirtual.com/tienda-virtual>. Consultado 03/05/2017.

### **2.3 GUÍA EQUIPOS DE HINCA DE PILOTES.**

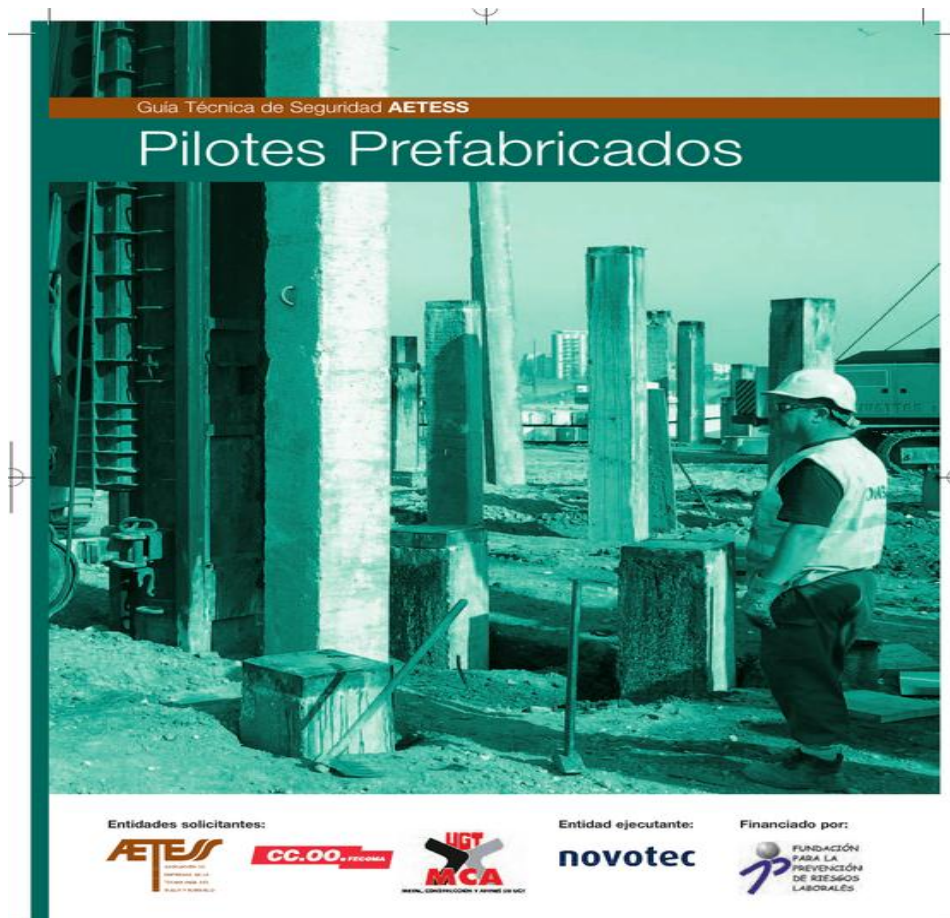
La guía de equipos de hincado de pilotes, se realiza de acuerdo a un programa de formación para los operadores y maquinistas de equipos de pilotes y de anclajes capacitando al personal especialista en esta actividad, la guía en mención reúne tres módulos que son de manejo, mantenimiento y seguridad de las principales áreas de las actividades que los profesionales tienen que conocer y manejar para el desarrollo óptimo y seguro. La guía de equipos de hincado de pilotes ha sido desarrollada por técnicos especialistas de las áreas de producción, mantenimiento y seguridad de las diferentes empresas que desarrollan el tipo de sistema de hincado de pilotes y coordinadores del comité de seguridad y formación.<sup>2</sup> La guía AETESS tiene como objetivo conocer y asimilar las características técnicas generales del

---

<sup>2</sup> Asociación de Empresas de la Tecnología Del Suelo y del Subsuelo (AETESS). GUÍA Equipos de Hincado de Pilotes. [citado 17 abr., 2017]. Disponible en: <http://aetess.com/GUÍA-hinca-de-pilotes/>.

equipo de hincado de pilotes prefabricados y tiene en cuenta las características y variables que se presentan durante las actividades en que la máquina está operando y realizando la hincado de pilotes.<sup>3</sup> La guía de equipos de Hincado de Pilotes, contiene tres módulos que abarcan las actividades al momento de realizar las maniobras de hincado que son: módulo 1: manejo de la máquina. Módulo 2: mantenimiento de la máquina. Módulo 3: seguridad.

**Imagen 2. Guía técnica Pilotes prefabricados.**



Fuente: <http://aetess.com/manual-hinca-de-pilotes/>

---

<sup>3</sup> AETESS. GUÍA Equipos de Hincado de Pilotes. 2da Edición 2008. [en línea]. [citado 17 abr. 2017] disponible en: [WWW.AETESS.COM](http://WWW.AETESS.COM)

## Portada guía equipos de hincas de pilotes.



Fuente: <http://aetess.com/manual-equipos-de-pilotes-aetess/>.

## 2.4 GUÍA DE SOLUCIONES PROCESOS CONSTRUCTIVOS SIKA 2017.

En Colombia existe una gran variedad de productos que se utilizan en la construcción y son parte integral de los materiales, en este caso Sika, una empresa mundial, cuenta con una gama amplia de productos utilizados para sellar, pegar, impermeabilizar, reforzar y proteger estructuras y que se usan para todo tipo de proyectos, dando soluciones a los problemas que surgen en muchos de estos que se ejecutan en el país. En el mercado se encuentra una Guía de Soluciones Sika 2017. (Imagen 3) dando soluciones a los efectos del agua en diferentes actividades realizadas en la construcción.

Una empresa que ha elaborado documentos muy completos y eficientes es SIKa la guía de soluciones establece las definiciones de productos especificando las funciones y el modo de empleo de cada uno de acuerdo a las necesidades o problemas que se presenten en las estructuras. El contenido de la guía abarca los

problemas o las necesidades que generalmente se desarrollan en el proceso de una construcción.<sup>4</sup>

**Imagen 3. Portada guía de soluciones Sika 2017.**



Fuente: Tomado de la portada de la guía de soluciones Sika 2017 [consultado el 17 abr, 2017].

## 2.5 OBRAS DE MOVILIDAD EN BOGOTÁ D.C. CON PILOTES HINCADOS A PRESIÓN.

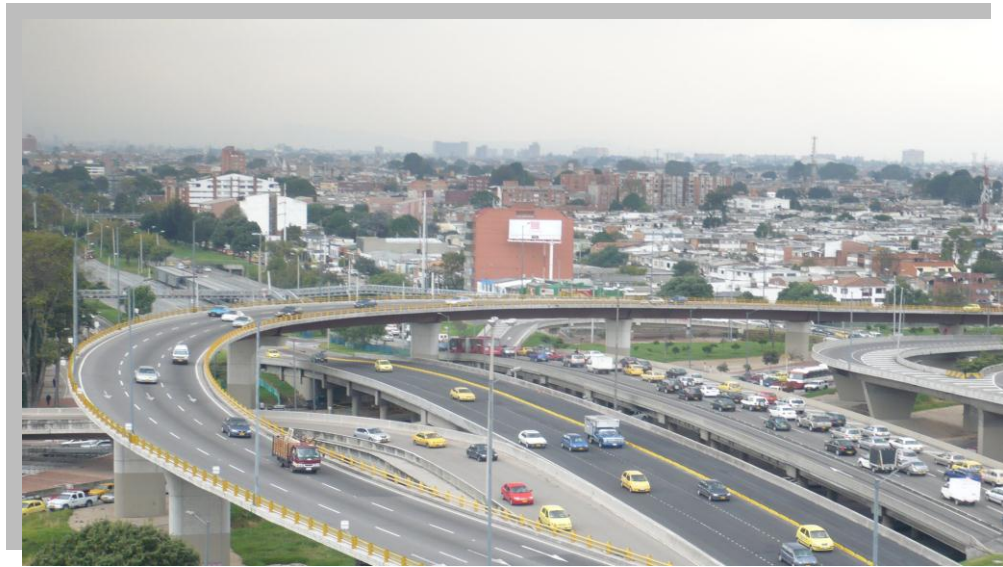
### 2.5.1 Puente de la calle 92 cimentación con pilotes hincados.

El puente urbano más largo de Colombia se encuentra en la calle 92 donde se conecta el tráfico de la carrera 30 (autopista NQS) con la carrera 45 (autopista

<sup>4</sup> Sika COLOMBIA S.A.S. GUÍA de soluciones Sika 2017 [en línea] [consultado 17 abr, 2017] disponible en: web: col.sika.com.

norte). **(Imagen 4)** El puente cuenta con 850 metros de longitud, calzada de 12 metros de ancho y la altura es de 15 metros en su punto más alto desde nivel de piso. El pilotaje del puente empieza desde el nivel menos 50 metros bajo tierra, en la cimentación de base se emplearon 248 pilotes de 40 metros de longitud fabricados en concreto reforzado hincados a golpes con una maquina piloteadora.<sup>5</sup>

**Imagen 4. Puente tercer nivel calle 92.**

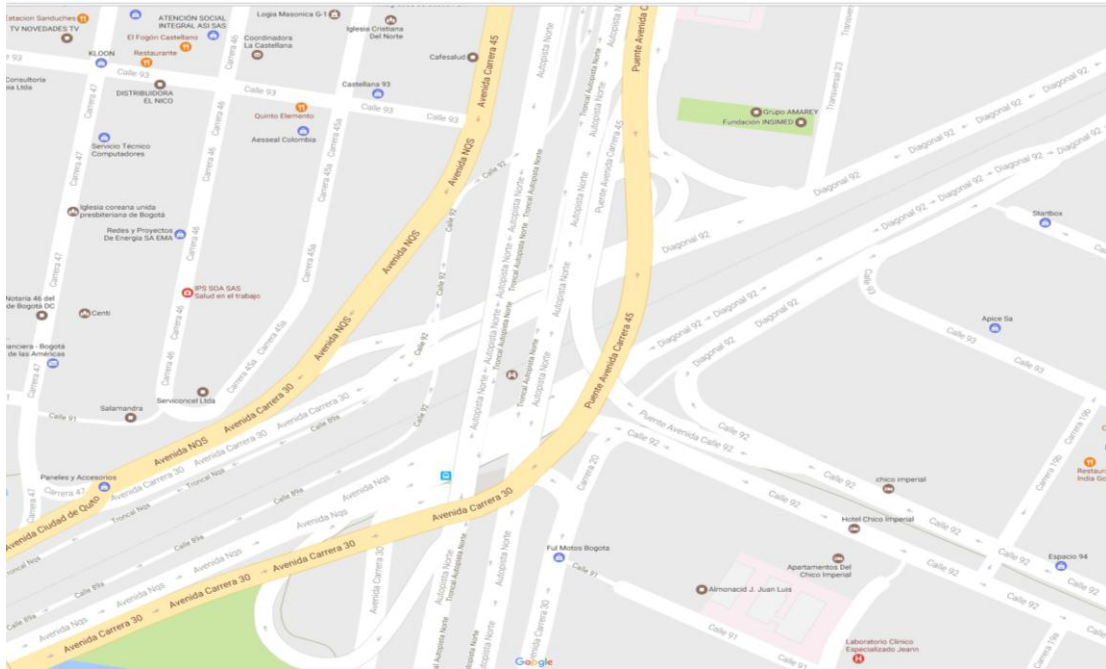


Fuente: <http://www.panoramio.com/user/1461504> [consultado el 14 abr, 2017].

---

<sup>5</sup> ConcreserVICIOS S.A.S. puente tercer nivel calle 92 [en línea] [consultado 14 abr, 2017] Disponible en <http://site.concreserVICIOS.com.co/index.php/puente-tercer-nivel-calle-92/>.

**Figura 1.** Ubicación Puente Calle 92 Bogotá, Colombia.



Fuente: <https://www.google.es/maps/@4.679123,-74.0584208,19z>.

El puente se encuentra apoyado en 13 pilas de diferentes longitudes debido a la curva vertical de la rasante, la pila más corta tiene 6,45 metros y la más larga tiene 12,7 metros de altura. Con lo anterior como resultados de la investigación del subsuelo en el sitio y de los ensayos de clasificación en el laboratorio se estableció que el suelo de fundación hace parte de un depósito predominantemente arcilloso, típico de la formación sabana, con algunos estratos intercalados de materia orgánica y lentes de arena por debajo de los 35.00 m de profundidad. En el sector sur - occidental se encontró una capa superficial de arenas con gravas depositada en alguna época pasada. La longitud final de los pilotes es de 40 metros. <sup>6</sup> (Anexo microzonificación de Decreto 523/2010 Bogotá).

---

<sup>6</sup> ESCOBAR LOPEZ, German y CORREDOR COLORADO, Guillermo. Puente de tercer nivel, calle 92 sobre autopista norte, Bogotá. En: Técnicas no convencionales en puentes: La revista de la técnica y la construcción Noticreto. Dic 2015. No. 670 ISSN 0120-8489, p. 20-26



La siguiente es una tabla que muestra algunas de las empresas más importantes que han usado, el sistema de pilotes hincados a presión en sus proyectos en Colombia y en España. En china esta forma de hincado es muy común en las obras de Ingeniería Civil.

**Tabla 2.** Obras Pilotaje Hincado a Presión.

Empresa	Obra	Año
	<p>Centro comercial Antares, ubicado en el municipio de Soacha. Ejecución de pilotaje pretensado para la construcción de la cimentación del centro comercial Antares. Para llevar a cabo este proyecto se requirió la fabricación e hinca de: - 56.443 metros de pilotes de sección 0.40 x 0.40 - 2.400 metros de pilotes de sección 0.35 x 0.35.</p>	2016
	<p>Se utilizó el sistema de pilotaje hincado en los siguientes proyectos de esta empresa.</p> <p>Construcrear S.A.S - Puente Largo Bogotá.</p> <p>Disepil Megapress S.A.S - Torre Imperial Suba – Bogotá.</p> <p>Edificio Calleja Park - Calleja Park II - Bogotá</p> <p>Edificio la Calleja II – Bogotá.</p>	2012  2015  2016
	<p>Obra El Campin. Ubicación: Av. Carrera 30 Calle 57 Estadio El Campin Obra ejecutada: 2014.5 metros de pilotaje</p> <p>Descripción: se hincaron 2014.5 m de pilotes prefabricados, en la restructuración del Estadio El Campin, los cuales tenían profundidades comprendidas entre 27 a 40 metros, el tiempo que se proyectó para la ejecución fue de 25 días, y el tiempo real que duro la actividad fue de 18 días.</p>	

## 2.6 MONORRIEL EN EL MUNDO.

Losa Ghini Associati<sup>7</sup> ha diseñado el cinturón de energía, un sistema de monorraíl de energía solar elegante de Bolonia, Italia, que conectará el Aeropuerto hasta el centro de la ciudad. El monorraíl puede proporcionar infraestructura para usos demás derivados, a saber, un paseo peatonal junto a las pistas y un sistema solar que bordea la cara sur del ferrocarril<sup>8</sup>.

**Imagen 5. Wuppertaler Schwebebahn.**



Fuente: <https://goo.gl/ctzcsk> consultado el 20 de octubre de 2016.

## 2.7 ANTECEDENTES DEL TRANVÍA DE BOGOTÁ.

El desarrollo del transporte en Colombia fue complicado, debido a su terreno montañoso y accidentado. Bogotá no estuvo unida por un ferrocarril a vapor hasta 1889 y no tuvo acceso ferroviario hacia un río navegable hasta 1909. Tanto sus

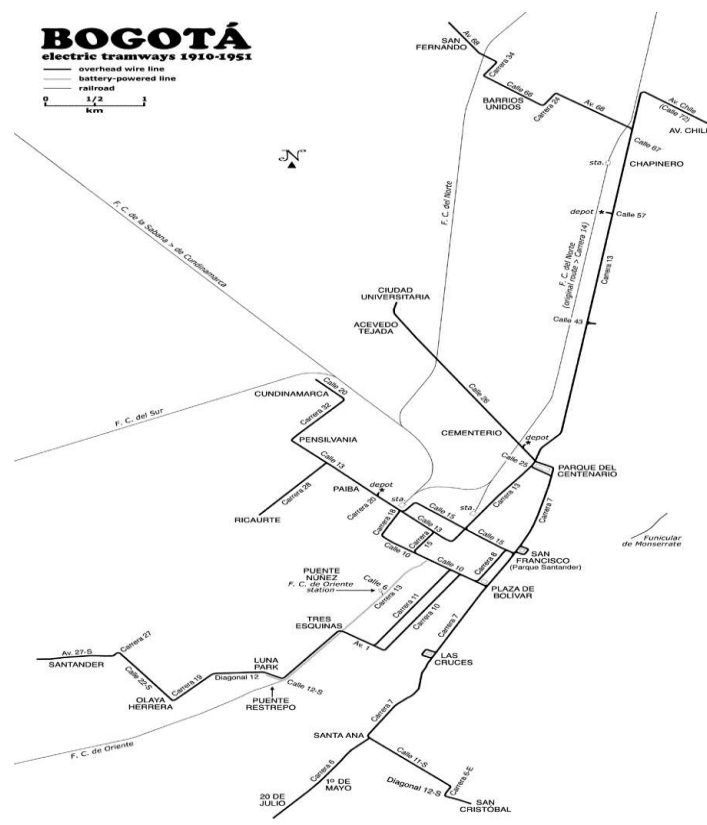
---

<sup>7</sup> Diseño, Vial [Citado 16 feb., 2017]. Disponible en: <http://www.iosaghini.it/architecture/mobility/>  
<sup>8</sup> Iosa Ghini Associati, [Citado 16 feb., 2017]. Disponible en <http://inhabitat.com/a-solar-powered-monorail-system-for-bologna/>-<http://www.iosaghini.it/>.

primeros carros a tracción animal, construidos en 1884, como sus primeros tranvías eléctricos, importados en 1908, tuvieron que ser desmontados y transportados por las montañas sobre los lomos de mulas.

La Bogotá City Railway, conocida también como Ferrocarril de Bogotá, inauguró el servicio de tranvías el 1º de diciembre de 1884: desde el Parque de Santander subiendo por la Carrera 7 hasta la Calle 26, luego a través de la Carrera 13 hasta la Calle 67 en el barrio de Chapinero. El depósito de tranvías estaba en la Calle 57. La BCR extendió la línea poco después hasta la Plaza de Bolívar, mostrada en esta fotografía sin fecha.<sup>9</sup>

**Imagen 6. Recorrido del tren 1951 en Bogotá.**



Fuente: <http://www.tramz.com/co/bg/t/ts.htmlt> Consultado: 05/05/2017.

<sup>9</sup> El tranvía en Bogotá. Historia [Citado 05 May 2017]. Disponible en: <http://www.tramz.com/co/bg/t/ts.htmlt>

El 1º de septiembre de 1910, los empresarios neoyorquinos vendieron el sistema de tranvías a la ciudad, la que formó la nueva compañía Tranvía Municipal de Bogotá (TMB). Los colombianos restablecieron el servicio comercial en el mes de octubre. La fotografía siguiente, tomada en 1947, muestra uno de los carros abiertos originales de 1908. **(Imagen 7.).**<sup>10</sup>

**Imagen 7. Tranvía con sus Rutas en Bogotá.**



Fuente: <http://www.tramz.com/co/bg/t/ts.html> Consultado: 05/05/2017.

El TMB ordenó otra docena de tranvías de 12 escaños en 1934, numerados 86-97. El Supplement de 1937 del World Survey of Foreign Railways, reportaba 75 tranvías eléctricos operando sobre 51 km de vías de trocha métrica en Bogotá. El fotógrafo que tomó la imagen de la siguiente tarjeta postal estaba mirando hacia el

---

<sup>10</sup> *Almanaque de los Hechos Colombianos 1920-1921*. Bogotá, 1921. El capítulo “Compañía de Desarrollo Urbano, Bogotá, Luna Park”, p. 483.

norte por la Carrera 7 desde la Plaza de Bolívar. El tranvía rotulado “Luna Park” está identificado.<sup>11</sup>

**Imagen 8. Tranvía abierto de 8 ruedas y 12 escaños en la Carrera 7 en 1946.**



Fuente: El Supplement de 1937 del World Survey of Foreign Railways,  
<http://www.tramz.com/co/bg/t/ts.html> Consultado: 05/05/2017.

---

<sup>11</sup> *Ibíd.* Pág. 484.

### **3 JUSTIFICACION.**

Es importante tener un documento que relacione el estado actual de las normas colombianas, (INVIAS, CCP-14, Código Colombiano de Puentes 2014, NTC Reglamento colombiano de construcciones sismo resistentes, NSR10) que hagan parte de los conceptos del sistema hincado a presión y el desarrollo de procesos de pilotaje de cimentación profunda con elementos prefabricados, para generar herramientas que faciliten la organización de la obra civil y su programación en la tarea constructiva. Se requiere una guía actualizada, para un tipo de pilote específico (prefabricado hincado a presión) que contenga los elementos de evaluación, identificación y determinación de cimentación profunda, acorde al tipo de suelos previamente definidos en el tramo de estudio, (Centro Internacional, el Aeropuerto el Dorado I y el Dorado II, calle 26 Bogotá y área rural de Madrid, Funza y Mosquera), confirmados según los datos obtenidos de diferentes estudios de suelos de obras en el tramo mencionado (Estudios empresas privadas de proyectos hechos en diferentes sectores del tramo). Con toda la información que se requiera para esta labor. En la actualidad el sistema de hincado a presión ha venido creciendo en la utilización en obras en Colombia. Es significativo elaborar la investigación para organizar la teoría necesaria y correcta para una guía, debido a la falta de información y documentos equivalentes, los cuales actualmente no hacen parte de la literatura ingenieril nacional en el tema específico de pilotes prefabricados hincados a presión. (El hincado de pilotes prefabricados a presión, se hace con una máquina Hincadora, que abraza los pilotes con 4 gatos hidráulicos y los hinca con la presión requerida, en los puntos indicados en planos de cimentación) La etapa mencionada, es de alta importancia en el sostenimiento de cualquier estructura y debe tener una herramienta que permita el seguimiento organizado y el control claro de sus procesos, para así realizar una observación completa con respecto a la calidad.

Las formas constructivas cada día están más controladas desde la producción hasta la entrega final, para mejorar y adicionalmente prever todos los sucesos que las lleven a un excelente término el proyecto. Es una obligación profesional aplicar la regulación en general, que debe estar normalizada, en el caso colombiano a través de las normas (INVIAS, CCP-14, NTC, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Por los equipos de transporte utilizados, se debería tener en cuenta) y el Reglamento Colombiano de

Construcción Sismo Resistente (NSR 10). Normas que son de gran injerencia en el país y necesarias para la ingeniería.

Del texto anterior se dice que el monorriel como propuesta de movilidad en el tramo mencionado, tiene grandes beneficios para la ciudad, el manejo de un volumen alto de pasajeros, la rapidez de su servicio, la seguridad y el aporte que hace el sistema por ser amigable con el medio ambiente y adicionalmente el desarrollo constructivo con este sistema es coherente con estos mismos beneficios, con un valor agregado, el uso de nuevas e innovadoras tecnologías.

Es importante aclarar que las diferentes técnicas de pilotaje son aplicables a esta estructura, como son los pilares de soporte de la viga para monorriel, sin embargo, hay diferencias en comparación a las otras, el sistema de pilotaje hincado a presión, densifica el terreno, no origina lodos, los otros sistemas si, el gasto de agua se reduce por que no se funde en situ, el gasto y la calidad del concreto se controla al ser prefabricados los pilotes, los otros sistemas se hace seguimiento después de fundido y el pilotaje prefabricado hincado a presión es amigable con el medio ambiente.

## **4 OBJETIVOS.**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una guía para el hincado a presión con pilotes prefabricados de concreto reforzado para cimentación profunda, en aplicación a los pilares del monorriel a los Aeropuertos El Dorado I y El Dorado II de Bogotá D.C. desde el Centro Internacional, con base en el Código Colombiano de Puentes del 2014, CCP-14 y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR 10).

### **4.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.**

- Identificar los conceptos generales de la producción y utilización de pilotes prefabricados en concreto reforzado, para hincado a presión en cimentación profunda.
- Determinar el contenido de la guía para hincado a presión de los pilotes prefabricados, según condiciones para su producción, transporte y aplicación de acuerdo a tipología de suelo, basándose en el reglamento NSR-10, y en aplicación a pilares del monorriel para los Aeropuertos El Dorado I y futuro El Dorado II.
- Elaborar el documento: Guía – Pilotes prefabricados hincados a presión en cimentación profunda, con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resiste NSR-10



## **5 MARCO REFERENCIAL.**

### **5.1 MARCO CONCEPTUAL.**

La guía técnica es un instrumento de apoyo, un documento elaborado de forma ordenada y sistemática, que incluye los principios y procedimientos precisos, para desarrollar un objeto o actividad, con la información y las instrucciones que se requieran de un asunto específico conforme a las normativas y va dirigido a un grupo de profesionales con conocimientos técnicos sobre alguna área específica, en proyectos de ingeniería es muy importante para identificar de manera fácil los aspectos y características que forman parte del mismo. <sup>12</sup>

Los componentes que se registran en la guía son los necesarios para conocer los conceptos, registros documentales, políticas, procedimientos, actividades, funciones, normas del tema de interés.

Los contenidos de la guía van dirigidos a los profesionales, determinado los cuestionamientos previos y dar claridad al tema específico de la guía que debe dejar clara las preguntas Cómo, dónde, cuándo, para qué, por qué, qué, con qué, con quién, para la consecución de los resultados esperados.

#### **5.1.1 Monorraíl.**

El término monorraíl o monorriel se usa para describir los sistemas de transporte en los que las sillas o vagones están suspendidos o se desplazan sobre estructura de un solo riel para transportar mercancías o personas. <sup>13</sup>

Los tipos de monorriel se dividen en dos clases generales: monorrieles sobre viga y monorrieles suspendidos. El tipo más común de monorriel usado actualmente es el monorriel sobre viga, en el que el tren funciona sobre una viga de hormigón armado del orden de 0,5 a 1 m de ancho. Un vagón con neumáticos de caucho se apoya sobre la viga y sus laterales para lograr tracción y estabilidad. Existe

---

<sup>12</sup> Definiciones Guía. [Consultado 08 mayo, 2017]. Disponible en: <http://definicion.de/guia/>.

<sup>13</sup> MONTAÑO, Mariana. Modo de transporte y su desarrollo. Escuela superior de ingeniería y arquitectura. 2008.

también un tipo de monorriel suspendido en el que los vagones del tren están suspendidos bajo el sistema de ruedas. En este diseño las ruedas se mueven dentro de la viga<sup>14</sup>.

### 5.1.2 ventajas y desventajas del monorriel.

Los monorrieles son sistemas de transporte público de tránsito ligero, similares a un tren. Los carros corren sobre un solo carril, de ahí su nombre de monorrieles y son impulsados por una locomotora eléctrica. Actualmente hay monorrieles en Las Vegas y Seattle, pero también se encuentran en numerosos aeropuertos para transportar a los pasajeros entre las terminales. Como se está animando a las personas a usar menos los coches, es importante entender los pros y los contras de estos sistemas de transporte alternativos. Las tablas ventajas y desventajas del monorriel, reflejan algunos aspectos generales, con respecto a los sistemas de metro y transporte masivo en vías principales.<sup>15</sup>

**Tabla 3.** Ventajas del monorriel.

Concepto	Ventaja
Adquisición de tierras	Menor costo y menor tiempo.
Vista panorámica	Mejor vista que el metro y otro transporte elevado. Visiblemente más atractivos.
Tiempo de construcción	Posee la ventaja de emplear prefabricados. No irrumpe con la accesibilidad vehicular.
Costos de operación	Menores a cualquier sistema según estudios, japoneses y alemanes. .

<sup>14</sup> URIBE, Diana. Transporte férreo. Escuela de ciencias administrativas contables económicas y de negocios. 2009

<sup>15</sup> CARRILLO, MORENO, Camila. RENGIFO LOZANO, Jesús. Monorriel como alternativa de interconexión Aeropuertos el Dorado I y II y el centro internacional de Bogotá. Trabajo de grado. Ingeniero Civil, Bogotá, Universidad La Gran Colombia, Facultad Ingeniería Civil 2016 pg. 35.

Espacio vehicular	No se reduce el espacio de tránsito vehicular.
Plusvalía	Aporte plusvalía al sector turístico de la ciudad.
Ruido	Son más silenciosos los modelos modernos que usan ruedas de caucho sobre una pista de hormigón.
Comportamiento en pendientes	Son capaces de subir y descender mayores pendientes que los sistemas convencionales pesados o ligeros.
Seguridad	Los monorrieles sobre vigas rodean su riel y por tanto son físicamente incapaces de descarrilar, salvo si la propia viga sufre un grave daño, lo que hace que los monorrieles tengan unos buenos registros de seguridad.

Fuente: Repositorio Universidad Autónoma de Querétaro, en línea <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1777/1/ri001315.pdf>-consultado el 5 de octubre de 2016.

**Tabla 4.** Desventajas del monorriel con relación a otros sistemas de transporte.

<b>Concepto</b>	<b>Desventaja</b>
Mantenimiento de vías	Mayor costo y dificultad por ser aéreo.
Aceptación	Rechazo en tempranas etapas de planeación.
Eficiencia	Menor capacidad y velocidad de usuarios, pero mayor eficiencia de funcionamiento.
Integración	Los monorrieles de levitación magnética requieren una vía altamente dedicada y no pueden ser integrados fácilmente con ningún otro sistema de transporte.
Tamaño	Los vehículos monorrieles suelen ser más pequeños que los metros pesados, lo que incrementa el número de unidades necesarias para igualar la capacidad de los sistemas de metro.

Diseño	Por diseño, un cambio de agujas monorriel dejará una viga colgando en mitad del aire en algunos momentos. Un cambio incorrectamente posicionado o atascado podía así provocar que el monorriel descarrilase y cayera, si bien este riesgo puede mitigarse mediante un diseño cuidadoso y no hay casos documentados de tales accidentes.
Emergencias	En caso de emergencia, los pasajeros no pueden evacuar inmediatamente el vehículo debido a que éste suele estar elevado y no todas las instalaciones cuentan con pasarelas de emergencia.

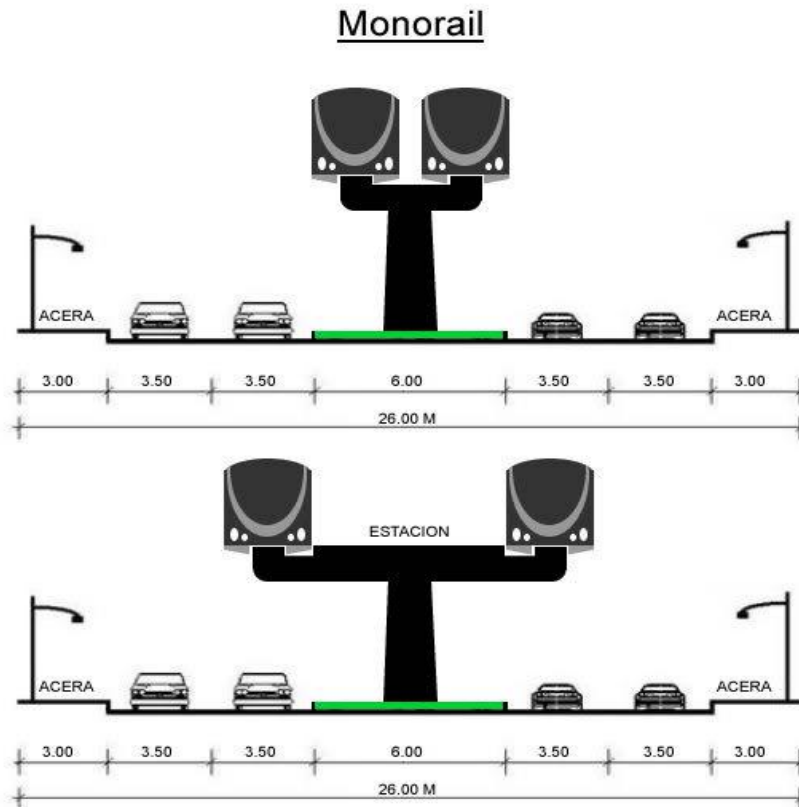
Fuente: Repositorio Universidad Autónoma de Querétaro, en línea  
<http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1777/1/ri001315.pdf>- consultado el 05 de octubre de 2016.

La estructura del monorriel elevado está compuesta por rieles de metal o de concreto que se ajustan con llantas. **(Imagen 9)** Pueden girar con radios de 50 a 70 metros. Las columnas sobre las que descansa están por lo general a una altura de 6 a 12 metros sobre el nivel de la acera y distanciadas 20 metros una de otra. El tamaño y las características de las estaciones son determinadas mediante factores como el largo del monorriel, la cantidad de usuarios, los elementos de circulación como elevadores y escaleras<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> Vías Modernas [Citado 16 feb., 2017]. Disponible en: <http://www.modutram.com/2016/12/02/que-es-un-monorriel/>

**Imagen 9. Monorriel Vista Frontal sistema general.**



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=627051&page=19>

La estructura en general para todos los monorraíles es homogénea, (**Imagen 10**) lo que varía en los que están en funcionamiento actualmente, es el diseño interno o externo, la distancia de recorridos y las capacidades de pasajeros por vagón.

### **Imagen 10. Monorriel y su estructura general.**



Fuente: <http://www.canstockphoto.es/monorriel-8328811.html>.

#### **5.1.3 Experiencia**

- El sistema monorriel de Disney World, ubicado en Walt Disney World Resort, Orlando, FL 32830, EE. UU. es el que tiene el uso acumulado más intenso de los viajes de todos los monorrieles de transporte vigentes. Más de 100.000 viajes, que se registran cada día en los 14 kilómetros de vías y seis estaciones. Moviliza más pasajeros que la mayoría de los otros sistemas de ferrocarril de EE.UU.

### 5.1.3.1 Monorrieles en Shonan, Japón.

Conecta las ciudades de Kamakura y Fujisawa, al sur de Tokio, en Japón, con una línea de una longitud de 6,6 kilómetros, en los que se distribuyen un total de 8 estaciones. El monorriel Shonan entró en funcionamiento en 1970.<sup>17</sup>

#### Imagen 11. Monorriel Shonan, Japón.



Fuente: <http://goo.gl/mxbwlw> consultado el 10 de octubre de 2016.

---

<sup>17</sup> Transporte Moderno, [Citado 16 feb., 2017]. Disponible en: <http://discoverytumundo.blogspot.com.co/2015/01/increibles-monorrieles-colgantes-en.html>

### 5.1.3.2 Monorriel en Sídney, Australia.

Esta línea, que se utilizaba en Sídney, en Australia, tenía 3,6 kilómetros en los que realizaba 8 paradas. Entró en funcionamiento en el año 1988,<sup>18</sup>

**Imagen 12. Monorriel Sídney, Australia.**



Fuente: <http://goo.gl/mxbwlw> consultado el 10 de octubre de 2016.

---

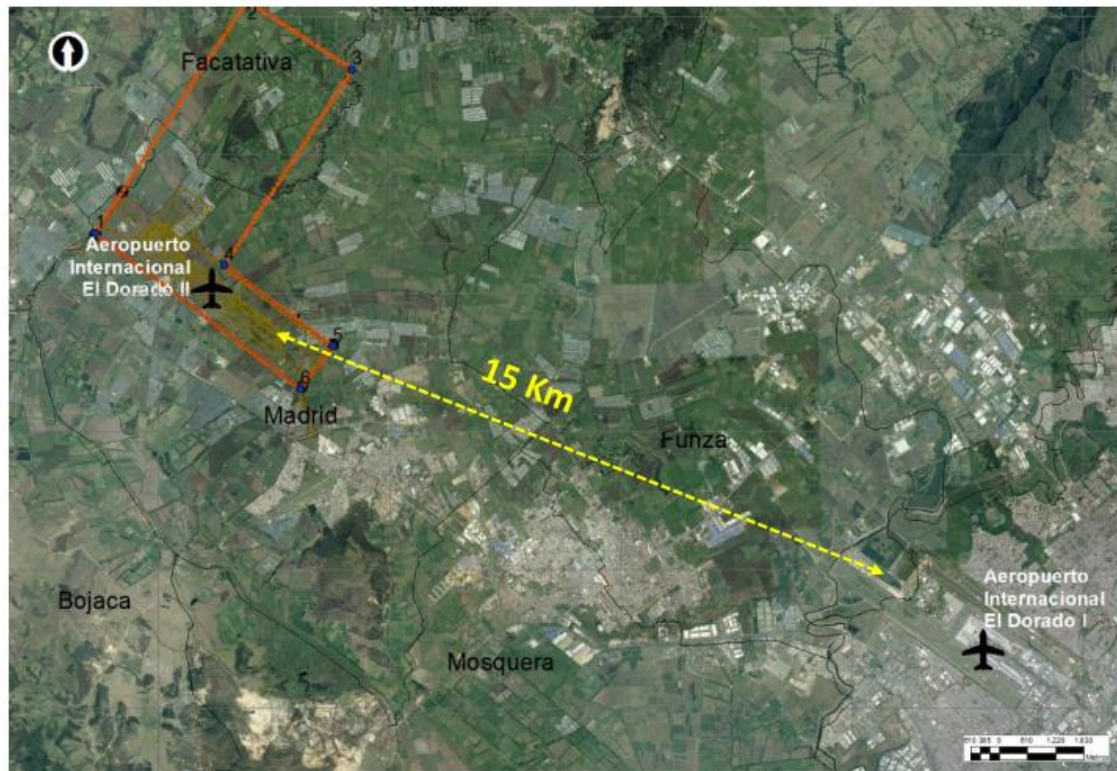
<sup>18</sup> Ibíd. pág. 2



## 5.2 MARCO TEORICO.

La imagen siguiente es solo una representación de la ubicación del proyecto que se tiene programado Aeropuerto el Dorado II.

**Imagen 13. Localización nueva Aeropuerto el Dorado II.**



Fuente:[http://www.ani.gov.co/sites/default/files/utd2\\_2017.06.03\\_reunion\\_de\\_inicio\\_eia\\_00\\_r02\\_pub\\_pag\\_ani.pdf](http://www.ani.gov.co/sites/default/files/utd2_2017.06.03_reunion_de_inicio_eia_00_r02_pub_pag_ani.pdf) Consultado el 11 de octubre de 2016.

La imagen muestra la línea de conexión entre el Aeropuerto El Dorado I, y el Aeropuerto El Dorado II, (**Imagen 13**), proyecto que se desarrollara por el constante crecimiento de los viajeros hacia la capital del país y la necesidad de hacer obras que mejoren la movilidad, la conexión nacional e internacional.

### 5.2.1 Cimentaciones profundas – pilotaje.

Algunas Cimentaciones, referentes como la del monorriel de Sao Pablo, México, y Chiba en Japón, entre otras que son relevantes frente al tema en Latinoamérica y

el mundo, utilizando la tecnología para el manejo de cimentación profunda, dejando aportes significativos al desarrollo de la construcción en este tipo de obras de grandes dimensiones estructurales<sup>19</sup>.

#### **Imagen 14. Torre latinoamericana.**



Fuente: México de, México (1956) Rotatobot consultado el 18 de octubre de 2016.

El suelo en que se asienta en esta torre de la imagen anterior presenta arcillas húmedas en su estrato más superficial. A 33 m de profundidad se encuentra un estrato de arena sobre el cual se apoyan los 361 pilotes de concreto usados para la cimentación del edificio. Su estructura está concebida como una cimentación

---

<sup>19</sup> Definiciones Técnicas, Noticreto, [Citado 27 feb., 2017]. Disponible en: [http://app.idu.gov.co/boletin\\_alejandria/julio2013/doc/ARTICULOS\\_GENERALS/CIM-118-13.pdf](http://app.idu.gov.co/boletin_alejandria/julio2013/doc/ARTICULOS_GENERALS/CIM-118-13.pdf)

flotante, la cual ha sido sometida a duras pruebas de la naturaleza en dos ocasiones: los sismos de 1957 y de 1985, de 7,7 y 8,1 en la escala de Richter, respectivamente.<sup>20</sup>

**Imagen 15. Estadio Nemesio Camacho “el campin”.**



Fuente: <http://www.colombia.com/actualidad>. Imagen. Actualización: Mie, 14 / Mar / 2012 Consultado 18/10/2016.

Debido a la necesidad de aumentar la capacidad de espectadores del Estadio el Campin y ante la dificultad de las condiciones del terreno y de la estructura existente, el Ingeniero Guillermo González Zuleta, ideó una cimentación aligerada para realizar la ampliación. Esta consistió en el hincado, a profundidades de entre 30 y 40 metros, de tubos de asbesto-cemento de 16 pulgadas de diámetro,

---

<sup>20</sup> ZEEVAERT, Adolfo Wiechers I. C, [Citado 22 Feb., 2017]. Disponible en: <p://zeevwolff.tripod.com/Torre-Latinoamerican/>

utilizados normalmente como tubería a presión, logrando así una cimentación liviana con esbeltos elementos exteriores<sup>21</sup>.

### 5.2.2 Pilotes prefabricados hincados

La necesidad de estructuras con mayores solicitaciones de carga y las características de la edificación, llevan a que la utilización de sistemas de cimentación profunda sea cada vez más usual, siendo en determinadas zonas de nuestro país la única solución debido a las limitaciones del terreno. Dentro de las Cimentaciones profundas existen dos grandes grupos. Pilotes in situ y pilotes prefabricados: los pilotes hincados a presión se denominan pilotes de desplazamiento debido a que el sistema de ejecución no extrae terreno ya que el proceso de hincar el pilote desplaza el terreno lateralmente. Los pilotes prefabricados hincados son una buena alternativa para la cimentación de estructuras en terrenos blandos, funcionando como pilotes columna, es decir, transmitiendo la carga en punta a una capa lo suficientemente firme como para aguantar la solicitación sin peligro de rotura del estrato. A su vez el proceso de hinca genera una mejora adicional a las características propias del terreno.<sup>22</sup>

Hay dejar claro que el sistema de hincado a presión de pilotes prefabricados es un sistema relativamente nuevo en Colombia aproximadamente 15 años, por eso los antecedentes son pocos y los documentos técnicos. Esta afirmación se hace debido a que la maquinaria para hacer este trabajo entro al país en el año 2002, importada de china según datos de la empresa COEX PRESS Pilotaje.

El grupo Terratest, una empresa española tiene dos instalaciones que están diseñadas para producir pilotes prefabricados Tipo Clase 1 de acuerdo con la Norma UNE-EN 12794:2006+A1 de Mercado CE para productos prefabricados de hormigón-pilotes de desplazamiento (0099/CPD/A87/0037) y disponen de los medios más modernos, manejados por personal altamente cualificado. Técnicamente elaborados bajo su manual. Los pilotes prefabricados TERRA se fabrican con hormigón de resistencia característica a 28 días no menor a 50 MPa (Pilotes Prefabricados Armados) y 55 MPa (Pilotes Prefabricados Pretensados),

---

<sup>21</sup> Tecnología del Concreto. [Citado 25 feb., 2017]. Disponible en: <http://www.asocreto.org.co/noticreto/noticreto118.html>

<sup>22</sup> CORONEL, Rodrigo. Cimentaciones profundas., [Citado 04 Mar., 2017]. Disponible en: <http://docplayer.es/7628582-CIMENTACIONes-profundas.html>.

con un contenido mínimo de cemento superior a 390 Kg \* m<sup>3</sup>, una relación agua/cemento inferior a 0,45 y una penetración de agua bajo presión máxima menor a 50 mm y media menor de 30 mm (Hormigón apto para su empleo en clases de exposición Altas, de carácter químico).<sup>23</sup> Como dato técnico se hace identificación de suelos a través de laboratorios.

### 5.2.2.1 Ventajas e inconvenientes pilotes hincados.

Debido a la condición de prefabricados, los pilotes de hinca son mucho más rápidos y fáciles de ejecutar, que los pilotes in-situ siempre que en obra se den las condiciones apropiadas para este tipo de solución, es decir: generalmente grandes obras de edificación donde no existan problemas derivados de las vibraciones, donde el tiempo de ejecución sea un condicionante de gran relevancia, donde se necesite solapar distintas unidades de obra. El ruido puede resultar así mismo inadmisibles en zonas urbanas.<sup>24</sup> El uso de los pilotes es una de las técnicas más antiguas usadas por el hombre para superar los problemas de la cimentación en estructuras de suelos blandos. Antes del siglo XIX, el tipo de cimentación eran zapatas continuas y el terreno solo podía soportar la carga que transmitían las zapatas.<sup>25</sup> El pilote es un elemento estructural que forma parte de la infraestructura de la edificación, cuyas funciones principales son las siguientes: transferir cargas de la superestructura y del resto de la infraestructura a través de estratos débiles o compresibles, a través del agua o aire, hasta estratos inferiores con la suficiente capacidad de carga como para soportar la estructura, comportándose el pilote como una extensión de columna o pilar. Estos estratos inferiores pueden ser rocas, arcillas duras o suelos de baja compresibilidad. Al pilote que reposa sobre estos estratos se denomina "pilote de punta"<sup>26</sup>. **(Figura. 2.)**

---

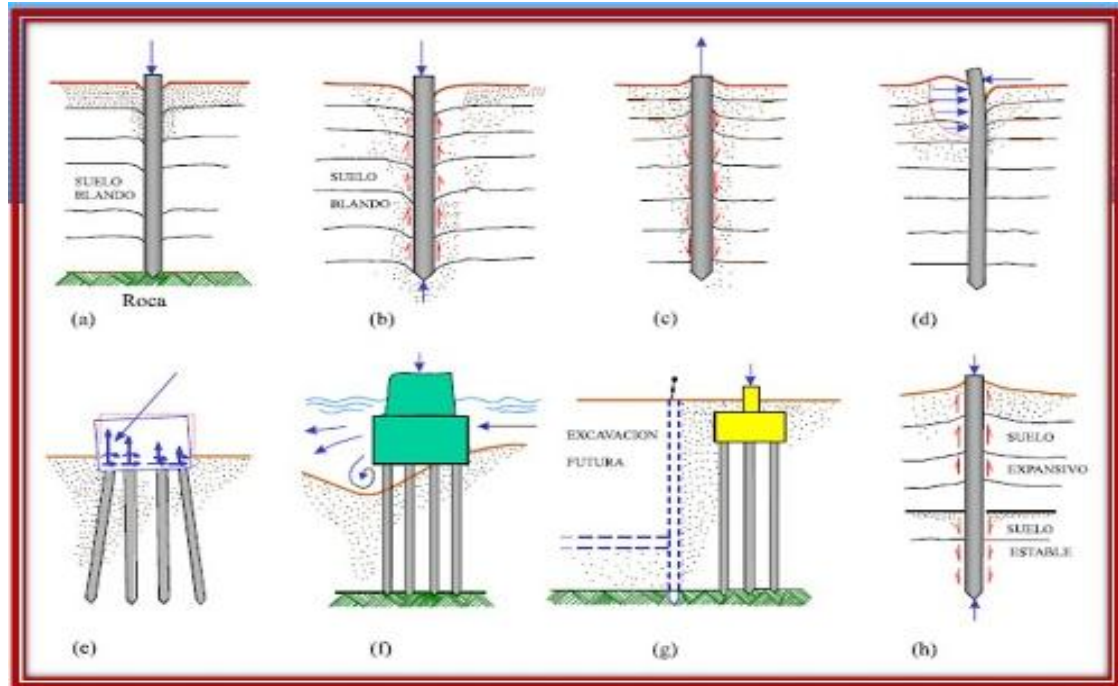
<sup>23</sup> Terra Tes Manual pilotes prefabricados. [Citado 02 Mar., 2017]. Disponible en: [www.terratest.com/.../catalogos/catalogo-pilotes%20prefabricados-y-pretensados\\_terra](http://www.terratest.com/.../catalogos/catalogo-pilotes%20prefabricados-y-pretensados_terra).

<sup>24</sup> Prefabricados, Conceptos., [Citado 04 Mar., 2017]. Disponible en: <http://www.rodikronsa.es/index.php/es/especialidades/pilotes-prefabricados>

<sup>25</sup> ESPINOSA, Augusto. Pilotes en la cimentación sobresuelos blandos. Escuela Colombiana de ingeniería. 1993.

<sup>26</sup> ALVA, Jorge. Fundaciones y Mecánica de Rocas Cimentaciones profundas. Comité peruano de mecánica de suelos., [Citado 04 Mar., 2017]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/7411/curso/TP2/teoría/FP02.pdf>

**Figura 2.** Casos donde pueden necesitarse pilotes.



Fuente: <https://es.slideshare.net/jonaszugatovar/Cimentaciones-profundas-48593715>. Consultado 27/04/2017.

En el crecimiento de teorías de cimentación, se crearon unas reglas “primitivas” mediante el cual la carga admisible por el pilote se basaba en la resistencia al golpe de un martillo de peso y caída conocidos, teniendo en cuenta la vida útil de las estructuras de concreto armado, desde el punto de vista de comportamiento del material.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> GARZA, Luis. Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo a NSR-10. Universidad Nacional de Colombia. [Citado 08 Mar., 2017]. Disponible en: [http://www.unalmed.edu.co/~lgarza/CIMENTACIONes/NDEC\\_SE.pdf](http://www.unalmed.edu.co/~lgarza/CIMENTACIONes/NDEC_SE.pdf)

### **5.2.3 Pasos para el diseño de pilotes.**

#### **5.2.3.1 Capítulos que tienen injerencia en el diseño pilotes (NSR 10).**

Los pilotes de concreto deberán cumplir con los requisitos estipulados en el Título C, F y G relativos al diseño y construcción de estructuras en estos tipos de materiales. Los pilotes metálicos deberán protegerse contra corrosión al menos en el tramo comprendido entre la cabeza y la profundidad a la que se estime el máximo descenso del nivel freático.

- Capítulo C.15 — cimentaciones C.15.1 — Alcance. C.15.1.1 - Las disposiciones del Capítulo C.15 deben usarse en el diseño de zapatas aisladas y, cuando sean aplicables, a zapatas combinadas, zapatas sobre pilotes, losas de cimentación, pilotes, cajones de cimentación (caissons), muros y estructuras de contención y vigas de amarre de la cimentación.
- C.15.2.2 — El área base de la zapata o el número y distribución de pilotes debe determinarse a partir de las fuerzas y momentos no mayorados transmitidos al suelo o a los pilotes a través de la zapata, y debe determinarse mediante principios de mecánica de suelos la resistencia admisible del suelo o la capacidad admisible de los pilotes.
- C.15.5.3 — Cuando la distancia entre el eje de cualquier pilote y el eje de la columna es mayor a dos veces la distancia entre la parte superior del cabezal de los pilotes y la parte superior del pilote, el cabezal de los pilotes debe cumplir con C.11.11 y C.15.5.4. Otros cabezales de pilotes deben cumplir ya sea con el Apéndice C-A, o ambos C.11.11, y C.15.5.4. Si se usa el Apéndice C-A, la resistencia a la compresión efectiva del concreto de los puntales,  $f'_c$ , debe determinarse usando C-A.3.2.2(b).
- C.15.11 — Pilotes y cajones de cimentación 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 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 sollicitaciones derivadas de empujes laterales y efectos sísmicos sobre los

pilotes y cajones de cimentación, los cuales deben ser definidos por el estudio geotécnico de acuerdo con lo establecido en el Título H.

- Es importante revisar la Tabla C.15.11-1 — cuantías mínimas longitudinales y transversales en pilotes y cajones de cimentación vaciados en sitio.
- C.15.11.5.4 — Pilotes prefabricados de concreto reforzado – Debe colocarse refuerzo longitudinal con una cuantía mínima de 0.01 en toda la longitud del pilote. Deben colocarse estribos, o una espiral equivalente, con un diámetro de barra mínimo N° 2 (1/4”) ó 6M (6 mm) con una separación máxima de 100 mm en los 600 mm superiores del pilote y 16 diámetros de barra longitudinal en el resto del pilote. Debe verificarse que el refuerzo mínimo anterior sea suficiente para garantizar la integridad del pilote durante el proceso de hincado, y aumentarlo en caso que se requiera una mayor cantidad. La resistencia mínima a la compresión del concreto antes de iniciar el hincado debe ser  $f'_c$ : 21 MPa. En estructuras con capacidad especial de disipación de energía (DES) debe colocarse una espiral con una cuantía mínima menor a 0.006, en vez de los estribos indicados anteriormente.
- C.21.12.1.2 — Los requisitos indicados en esta sección para pilotes, pilas excavadas, cajones de cimentación y losas sobre el terreno complementan otros criterios de diseño y de construcción aplicables del Título C del Reglamento NSR-10. Véanse C.1.1.6 y C.1.1.7.
- C.21.12.2.1 — El refuerzo longitudinal de las columnas y muros estructurales que resisten las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos debe extenderse dentro de la zapata, losa de cimentación o cabezal de pilotes, y debe estar totalmente desarrollado por tracción en la interfaz.
- C.21.12.4 — Pilotes, pilas y cajones de cimentación C.21.12.4.1 — Las especificaciones indicadas en C.21.12.4 se aplican a los pilotes, pilas y cajones de cimentación que soportan estructuras diseñadas para tener resistencia sísmica.
- C.21.12.4.4 — Los pilotes, pilas o cajones de cimentación deben tener refuerzo transversal de acuerdo con lo indicado en C.21.6.4.2 en las zonas definidas en (a) y (b).
- C.21.12.4.5 — Para los pilotes prefabricados de concreto hincados la longitud donde se coloca el refuerzo transversal proporcionado debe ser suficiente como para tener en cuenta las variaciones potenciales de la profundidad a la que llega la punta de los pilotes.
- C.1.1.6 — Pilotes, pilas excavadas y cajones de cimentación.



- ASTM D1143/D1143M-07 — Ensayo para pilotes bajo carga axial.
- ASTM D 3689-07 — Ensayo para pilotes individuales bajo carga axial
- ASTM D 3966-07 — Ensayo para pilotes bajo carga lateral.
- ASTM D4945-08 — Ensayo para pilotes bajo altas deformaciones ASTM D. 5882-07 — Ensayo a bajas deformaciones para la integridad.
- Laboratorios para Longitud total del pilote más largo, más 4 veces el diámetro del pilote o 2 veces el ancho del grupo de pilotes (NSR 10).
- H.4.4 — CIMENTACIONES CON PILOTES La capacidad de un pilote individual debe evaluarse considerando separadamente la fricción lateral y la resistencia por la punta con las teorías convencionales de la mecánica de suelos.
- H.4.7.3 — CAPACIDAD PORTANTE POR PRUEBAS DE CARGA Y FACTORES DE SEGURIDAD — La capacidad portante última de cimentaciones profundas se podrá calcular alternativamente, a partir de pruebas de carga debidamente ejecutadas y en número suficiente de pilas o pilotes de acuerdo con lo señalado en la tabla H.4.7-2. En este caso los factores de seguridad mínimos podrán reducirse sin que lleguen a ser inferiores al 80% de los indicados en la tabla 4.7.1.
- H.7.4.6 — MÉTODOS DE MEJORAMIENTO DE LOS DEPÓSITOS DE SUELOS SUCEPTIBLES A LA LICUACIÓN Pilotes de compactación, procede mediante el hincado con vibración de pilotes de desplazamiento.
- 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 que correspondan a lo señalado en los planos estructurales.

En arcillas saturadas se puede presentar tanto un levantamiento del suelo como de los pilotes vecinos debido al volumen del suelo desplazado, este efecto se puede atenuar utilizando pilotes metálicos o haciendo una perforación previa antes del hincado.

En arenas sueltas en las que incluso se puede combinar el hincado con la aplicación de vibraciones al pilote, se produce compactación de los mantos de arena que puede afectar construcciones vecinas.

En arenas compactas, ante la dificultad de atravesar estratos de este material que nos garanticen un apoyo confiable se puede llegar a utilizar pilotes que inyecten agua a presión en la punta para facilitar su penetración o utilizar pilotes metálicos.

No es conveniente utilizar pilotes cuando se sospeche de la presencia de rocas de gran tamaño debido a la posibilidad de que la punta del pilote sea apoyada en un fragmento de roca embebido en una matriz de suelo blando de tal manera que no se pueda garantizar su adecuado desempeño para las solicitaciones consideradas.

Calcular la capacidad de carga última de pilotes individuales, para lo cual existen diversos procedimientos de diseño. Luego calcular la capacidad de carga admisible del pilote y grupo de pilotes.<sup>28</sup>

### **5.2.3.2 Capacidades de carga última de un pilote en diferentes tipos de suelos.**

De acuerdo al tipo de suelo el pilote trabaja por fuste o por punta, así mismo se diseña y se calcula por diferentes métodos.

### **5.2.3.3 Capacidades de carga última de un pilote:**

La capacidad de carga última **Qu** de un pilote está compuesta por la resistencia a la fricción y la resistencia en la punta.<sup>29</sup>

$$\mathbf{Q_u = Q_s + Q_b} \quad (1)$$

Dónde: **Qu** = Carga Ultima.

**Qs** = Resistencia por Fricción.

**Qb** = Resistencia por Punta.

En arcillas la resistencia por fricción es mucho mayor que la resistencia por punta:

---

<sup>28</sup> ALVA. Op, cit.

<sup>29</sup> Pilotes funcionamiento. [Citado 09 Mar., 2017]. Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2105/2/136234.pdf>

#### **5.2.3.4 Capacidades de carga admisible de un pilote.**

La capacidad admisible se obtiene dividiendo la carga última por un factor de seguridad. Los factores de seguridad se pueden aplicar a la capacidad de carga última o a las capacidades de carga por fricción y por punta separadamente. La capacidad de carga admisible se toma como la menor de: 3.0 donde **Qs** y **Qb** son las cargas últimas por fricción y por punta respectivamente. Excepto cuando se hincan pilotes hasta el rechazo, es usual realizar por lo menos un ensayo de carga en cada sitio. Se pueden hincar pilotes de prueba y ensayarlos hasta la falla<sup>30</sup>.

#### **5.2.3.5 Fricción negativa**

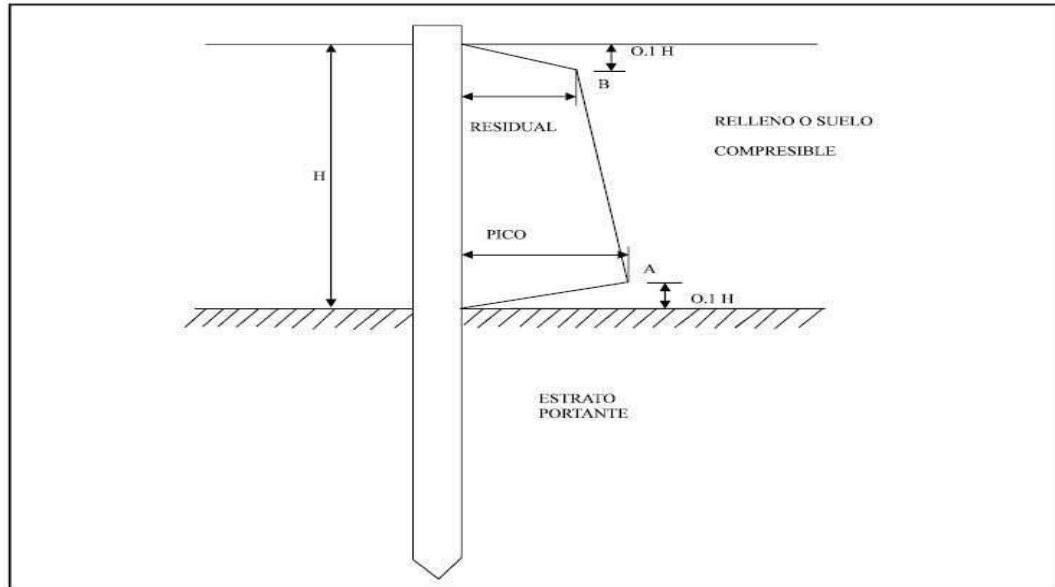
En ciertas condiciones del terreno, el suelo que rodea la parte superior del pilote se puede asentar con relación al pilote, cambiando la dirección de las fuerzas de fricción en el lado del pilote y tendiendo a jalarlo hacia abajo. Este fenómeno, conocido como "fricción negativa", produce una carga adicional en el pilote, de modo que reduce su capacidad portante. La fricción negativa puede ocurrir en los siguientes casos: un pilote hincado a través de una arcilla blanda sensible llega a un estrato relativamente incompresible. El remodelo de la arcilla durante el hincado puede ser suficiente para causar asentamiento. Las arcillas blandas marinas o de estuario pueden ser particularmente susceptibles a desarrollar fricción negativa.<sup>31</sup>

---

<sup>30</sup> *Ibíd.*, pág. 18

<sup>31</sup> GARZA, Luis. Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo a NSR-10. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. AIS, 2010, pág. 33.

**Figura 3.** Distribución asumida de la fricción negativa.



Fuente:

<http://reader21.docslide.net/store21/html5/432016/55cf9df4550346d033b002d1/bg7.png>, consultado 30 octubre, 2016.

Un pilote hincado a través de una arcilla blanda llega a un estrato relativamente incompresible con sobrecarga en la superficie. Sin embargo, la carga en la superficie producirá asentamiento que puede generar fricción negativa en el pilote. **(Figura 3)**. Sin embargo, la máxima fuerza que se desarrollará por fricción negativa puede evaluarse si se asume la distribución de esfuerzos de fricción propuesta<sup>32</sup>. Los efectos de la fricción negativa pueden reducirse o eliminarse si se protege la sección del pilote dentro del relleno o de la arcilla blanda. Si se emplea bitumen debe tenerse cuidado en su aplicación para asegurar que éste se adhiere de forma correcta al pilote y tiene un espesor mínimo de 3 milímetros<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> TOMLINSON, M. "Pile Design and Construction Practice", Londres E & FN SPON 1987, Pág 232.

<sup>33</sup> ALVA, Jorge. Cimentaciones profundas. Comité peruano de mecánica de suelos FUNDACIONES Y MECANICA DE ROCAS. Perú. Trillas, 2011, Pág 49.

### **5.2.4 Capacidad de carga de grupos de pilotes.**

Los encepados son piezas prismáticas de hormigón armado que transmiten y reparten la carga de los soportes. El número de pilotes por pilar depende de la carga que el pilar tenga que transmitir y del tope estructural del pilote. En la actualidad se prefiere utilizar pilotes de diámetro grande y por lo tanto pocos pilotes por pilar, se utilizan normalmente encepados con pilotes de uno a cuatro. Conviene arriostrar los encepados de una cimentación, además es imprescindible disponer de vigas centradas; cuando los encepados son de un pilote en dos direcciones lo más ortogonales posibles; y cuando los encepados son de dos pilotes en la dirección perpendicular a la línea que une a los dos pilotes. Estas vigas de arriostramiento y centradas tienen como misión absorber momentos debidos a excentricidades entre eje del pilar y el centro geométrico de los pilotes, así como los momentos procedentes de la estructura.<sup>34</sup>

### **5.2.5 Diseño para suelos.**

Dependiendo del tipo de suelos se desarrolla un diseño de cimentación profunda por esta razón es importante hacer un buen estudio, para identificar claramente los suelos existentes en el lugar del proyecto.

#### **5.2.5.1 Suelos granulares.**

Los pilotes hincados compactan al suelo granular, aumentando su capacidad portante. Ensayos en modelos han demostrado que los factores de eficiencia de grupo de pilotes hincados en arena pueden llegar hasta 2. En pilotes pre-excavados, la acción de excavación reduce la compactación, por lo que el factor de eficiencia de grupo es difícil que sea mayor que 1. En diseño se usa un factor de eficiencia de grupo de 1 para todo tipo de pilotes en suelo granular. Esto significa que se ignoran los efectos de grupo al predecir la capacidad portante. Sin embargo, los pilotes excavados deben tener un espaciamiento mayor que 3 diámetros (centro a centro). Eficiencia según la teoría de Poulos, al estudiar la distribución de cargas en un grupo de pilotes, encontró que se concentraban en los pilotes de las esquinas en un arreglo cuadrado de 3X3 y 4X4 pilotes, mientras

---

<sup>34</sup> Implementación informática para el cálculo de pilotes de hormigón "in situ" según el código técnico de la edificación. [consultado 14 abr, 2017] Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4788/direccion/MEMORIA%252F>

que los pilotes del centro eran los que menor carga sostenían; sin embargo, todos estos resultados difieren de los encontrados en las pruebas de carga a escala real.<sup>35</sup>

### 5.2.6 suelos cohesivos.

En suelos cohesivos se considera al grupo (pilotes y suelo contenido) como una cimentación profunda; la última carga del grupo se puede evaluar con la ecuación de Meyerhof. (**Imagen 16.**). Para un ancho de grupo  $b_1$ , longitud  $b_2$ , profundidad  $d$ , la carga de falla es:

$$Q_u = C N_c. \quad (2).$$

Dónde: **Q<sub>u</sub>** la carga de falla es. **N<sub>c</sub>** = factor de capacidad de carga de Meyerhof.  
**C** = cohesión promedio de la arcilla que rodea al grupo.

#### Imagen 16. Formula Meyerhof.

$q_u = C.N_c.F_{cs}.F_{cd}.F_{ci} + q.N_q.F_{qs}.F_{qd}.F_{qi} + \frac{1}{2}YB.NY.FYs.FYd.FYi$

Donde

$q = D_f.g$  (profundidad x p.e)

C = Cohesión

g = Peso específico

B = Ancho de cimentación (lado + corto)

d = B = Diámetro de cimentación

F<sub>cs</sub>. F<sub>qs</sub>. F<sub>gs</sub> = Factores de forma

F<sub>cd</sub>. F<sub>qd</sub>. F<sub>gd</sub> = Factores de profundidad

F<sub>ci</sub>. F<sub>qi</sub>. F<sub>gi</sub> = Factores por inclinación de la carga

N<sub>c</sub>. N<sub>q</sub>. N<sub>g</sub> = Factor de carga

Fuente: Uap universidad alas peruanas escuela profesional de ingeniería civil.

---

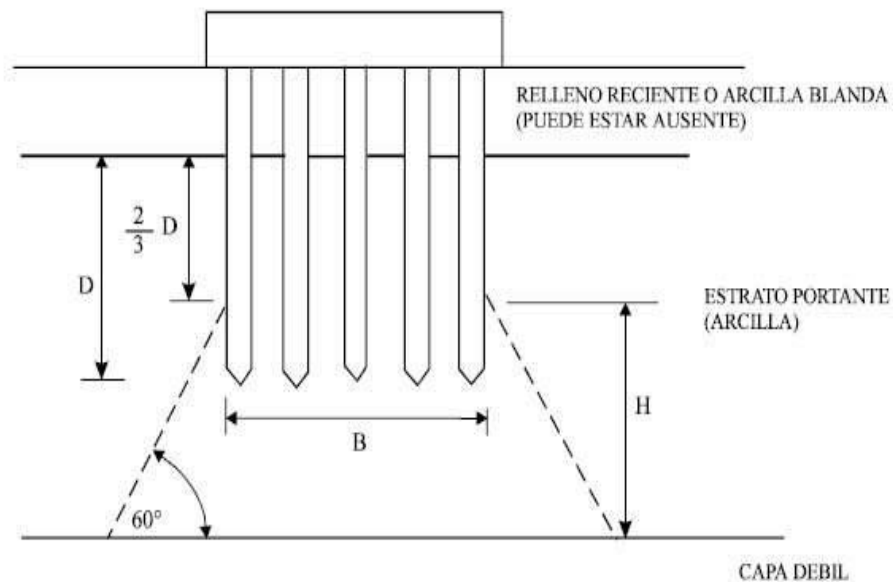
<sup>35</sup> Teoría eficiencia, Poulus. [consultado 14 abr, 2017] Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432007000200003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000200003)

Por lo que es necesario realizar una verificación. Se asume que la carga del grupo de pilotes se repartirá.<sup>36</sup>

### 5.2.7 Pilotes de fricción o punta.

Se asume que la carga se distribuye como se muestra en la **Figura 4**, de los dos tercios del empotramiento del pilote en el estrato resistente.

**Figura 4.** Distribuciones de carga para grupo de pilotes por fricción.



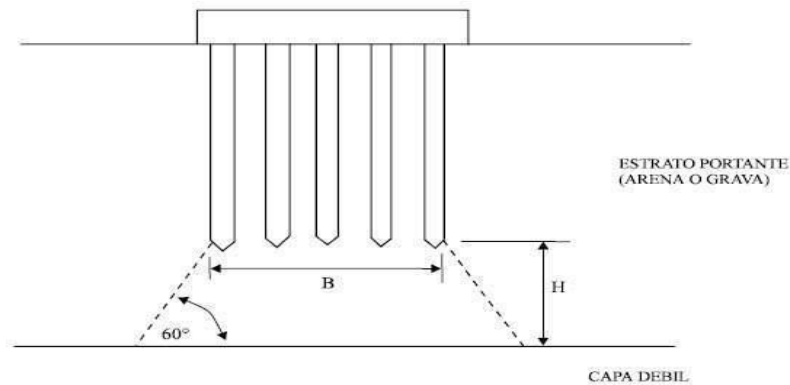
Fuente: <http://documents.tips/documents/capacidad-de-carga-de-pilotes-y-grupo-de-pilotes-1>.

Pilotes de punta en arena o grava: se asume que la carga se distribuye como se muestra en la **Figura 5**, a partir de la base de los pilotes.

---

<sup>36</sup> Ibíd.

**Figura 5.** Distribuciones de carga para grupo de pilotes por punta.



Fuente: <http://documents.tips/documents/capacidad-de-carga-de-pilotes-y-grupo-de-pilotes-1.html>. 30 de octubre de 2016

### 5.2.7.1 Longitudes de pilotes cercanos.

Todos los pilotes de un grupo deben tener aproximadamente la misma longitud. Cuando se tengan pilotes de diferente longitud, cercanos, es usual diseñar al pilote más corto lo suficientemente largo, de modo que una línea inclinada a  $45^\circ$  de su base no interseque al pilote vecino más largo. Esto evita que la carga de la punta del pilote corto sea transmitida al pilote largo.

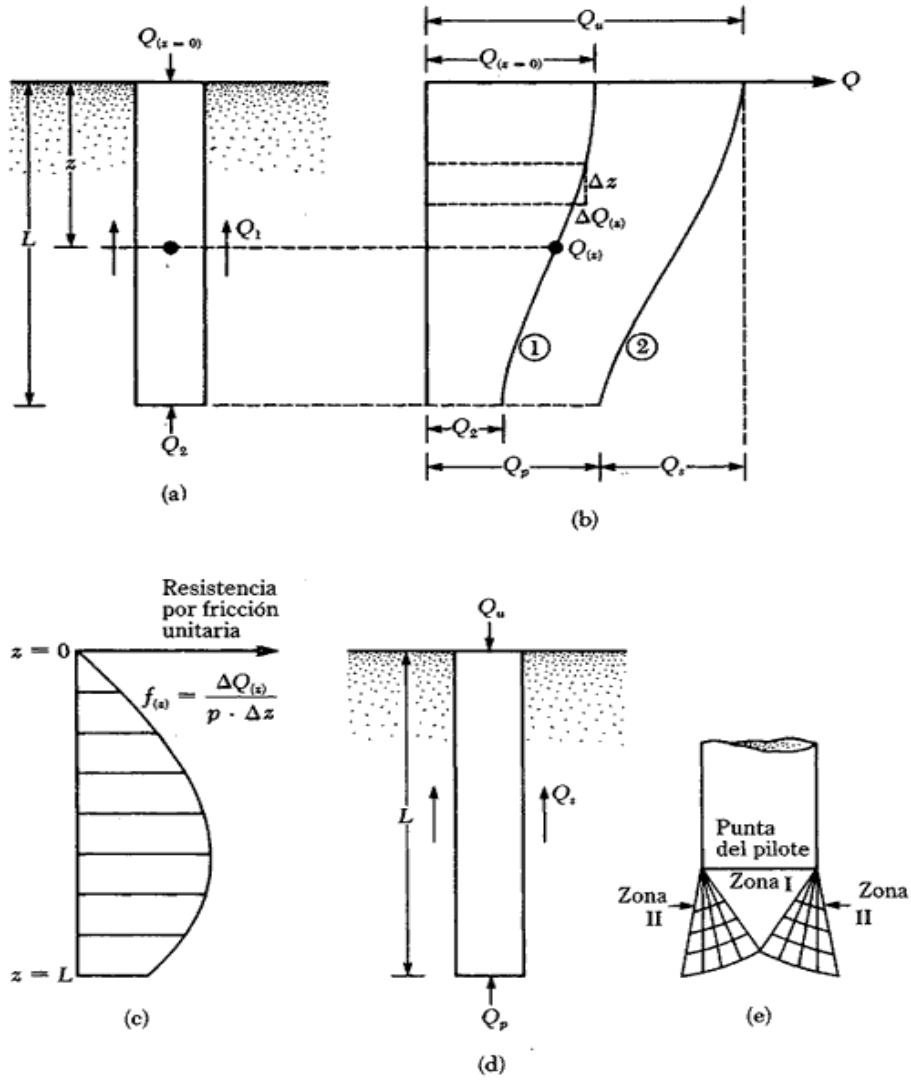
### 5.2.8 Asentamiento de pilotes y grupos de pilotes.

El asentamiento de un pilote individual bajo carga de trabajo es usualmente tan pequeño que no presenta problemas. Sin embargo, el efecto combinado de un grupo de pilotes puede producir un asentamiento apreciable, debiendo ser considerado<sup>37</sup>. Existen métodos que permiten realizar estimados razonables del asentamiento de pilotes y grupos de pilotes. Los procedimientos listados a continuación permiten realizar una estimación aproximada del asentamiento de un grupo de pilotes o de un pilote individual dentro del grupo.

<sup>37</sup> ESPINOSA, Augusto. Pilotes en la cimentación sobresuelos blandos. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, ECI, 1993, Pág. 456.



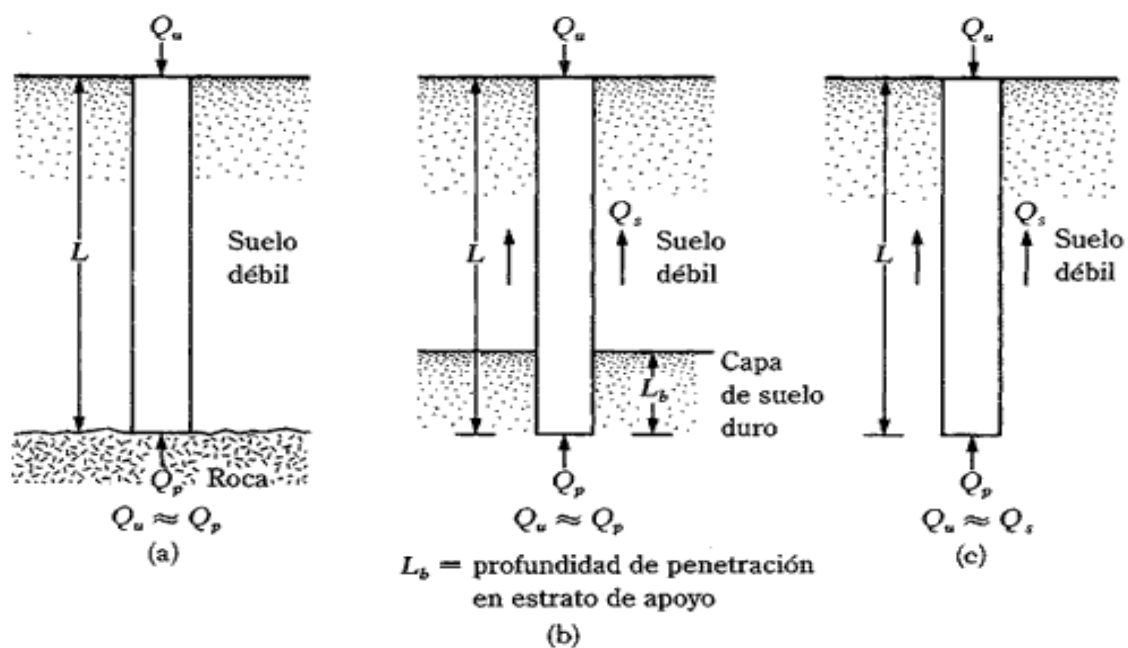
Figura 6. Transferencia de carga.



Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2012/12/pilotes-mecanismo-de-transferencia-de.html>. Consultado el 30 de octubre de 2016.

### 5.2.9 Ensayo de carga en pilotes.

Figura 7. Capacidad de carga.



Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2012/11/pilotes-de-carga-de-punta-estimacion-de.html>.

La capacidad de carga última de un pilote está compuesta por la resistencia a la fricción y la Resistencia por punta. (Figura 7) En suelos granulares la resistencia por punta es generalmente mayor que la Resistencia por fricción lateral, luego:

$$Q_u = Q_s + Q_b \quad (1)$$

Dónde: **Qu** Carga ultima. **Qs** resistencia a la fricción. **Qb** resistencia por punta.

La fricción lateral **f unidades F/ l<sup>2</sup>** a la profundidad **z** está dada por:

$$f = K_s p_d \text{ tang } (\delta) \quad (2)$$

Dónde: **Ks** = coeficiente lateral de tierra, la relación de la presión lateral a vertical en los Lados del pilote. **Pd** = esfuerzo efectivo vertical a la profundidad z. **d** = ángulo de fricción entre el pilote y el suelo. **tang** Tangente.

Para un pilote rodeado por suelo granular entre las profundidades z1 y z2, la resistencia por Fricción lateral es.

$$Q_s = \frac{1}{2} K_s g (z_1 + z_2) T_g d A_s \quad (3)$$

Donde; **As** es el área empotrada de z1 a z2. Si el pilote está parcialmente sumergido, las contribuciones por encima y por debajo del nivel freático deben calcularse separadamente. Los valores de **Ks** y **d** presentados por Broms.

Estos valores Son válidos hasta un valor de fricción lateral f de 110 KN/m<sup>2</sup>, que es el valor máximo que puede ser Usado para pilotes de sección constante. En el cálculo de la resistencia por punta, el tercer término de la ecuación de Meyerhof (Relacionado a la fricción en la base) es relativamente pequeño para pilotes largos y esbeltos, por lo que Usualmente se ignora. Luego, la resistencia en la base es:

$$Q_b = p_b (N_q - 1) A_b \quad (4)$$

Dónde: **pb** = esfuerzo efectivo de sobrecarga en la base del pilote. **Ab** = área de la base del pilote. **Nq** factor de las tablas de Meyerhof.

Los valores de f se obtienen de los resultados del ensayo de penetración estándar (sin aplicar correcciones por profundidad, nivel freático o contenido de limo). Los valores de **Nq** de Meyerhof, tienden a ser extremadamente altos para cimentaciones por Pilotes, cuando se comparan con fallas reales, los valores obtenidos por Berezantsev son más adecuados. El valor máximo de resistencia por punta a ser usado es de 1,100 kN/m<sup>2</sup>. Cuando se calcula la resistencia por fricción y por punta en pilotes en suelo granular, Se asume siempre una densidad relativa baja, independientemente del estado inicial del suelo.<sup>38</sup>

---

<sup>38</sup> Universidad Buenos Aires, Facultad Ingeniería Pilotes. [Consultado 14 abr, 2017]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/7411/curso/TP2/teoria/FP02.pdf>

### 5.2.9.1 Ensayo de Carga.

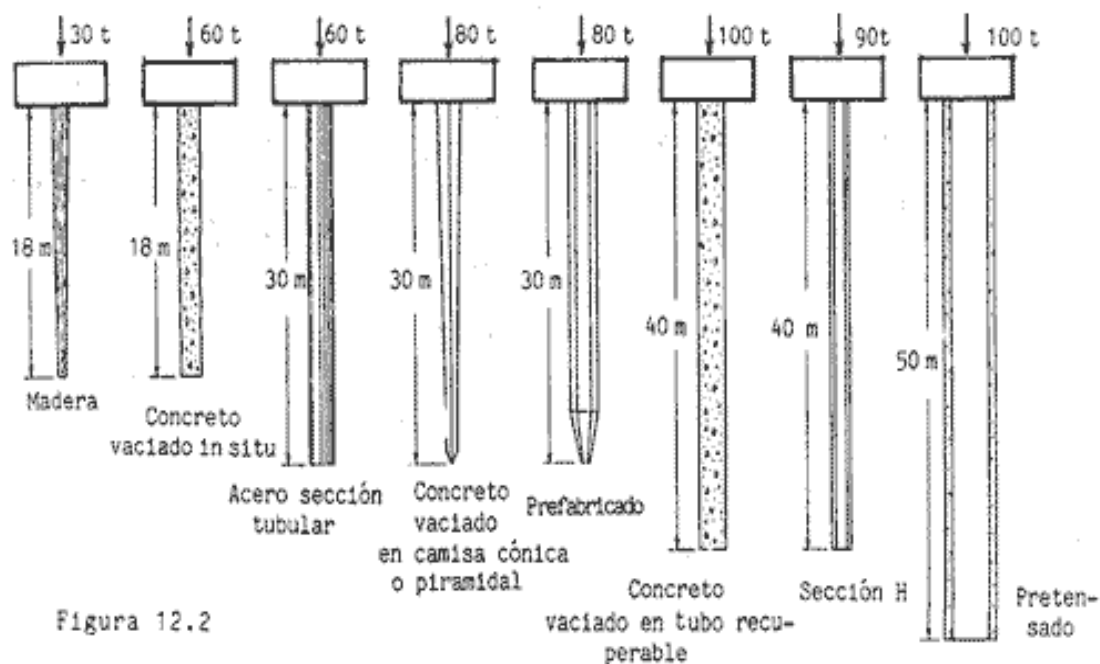
La única manera segura de saber si un pilote es capaz de soportar la carga requerida, es ejecutar un ensayo de carga. Este ensayo también puede utilizarse para medir las características de carga-deformación del pilote, con sus diferentes capacidades según el material. **(Figura 8)**. En un trabajo de pilotaje, uno o más pilotes se ensayan; los pilotes de ensayo se seleccionan de manera aleatoria entre los pilotes que se están instalando o pilotes especiales pueden hincarse con antelación para verificar el diseño. La prueba de carga se realiza generalmente por las siguientes razones<sup>39</sup> Verificar experimentalmente que la actual respuesta del pilote a la carga (reflejada en la relación carga-asentamiento) corresponde a la respuesta asumida por el diseñador. Que la carga última actual del pilote no es menor que la carga última calculada y que fue usada como base en el diseño de la cimentación. Obtener datos del suelo deformado y facilitar el diseño de otro pilote. Determinar el comportamiento carga-asentamiento de un pilote, especialmente en la región de carga de trabajo. Para indicar la dureza estructural del pilote<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> VESICA. "Diseño de Pilotes", Programa Nacional Cooperativo de Investigación de Carreteras, Síntesis de Prácticas de Carreteras, Junta de Investigación de Transporte, Washington, D.C. GH, 1977 Pág 501.

<sup>40</sup> ALVA, Jorge. Cimentaciones profundas. Comité peruano de mecánica de suelos FUNDACIONES Y MECANICA DE ROCAS. Perú. Trillas, 2011, pág. 49.

**Figura 8.** Capacidad de carga de diferentes tipos de pilotes.



Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/02/tipos-de-pilotes-y-su-capacidad-de.html>. Consultado 28 de Mayo de 2017.

### 5.2.9.2 Método sísmico.

En el ensayo sísmico de integridad de pilotes se utiliza un equipo desarrollado por el Instituto TNO de Holanda, que cuenta con más de veinticinco años de experiencia en este tipo de ensayos, habiendo ensayado millones de pilotes, y habiendo detectado centenares de pilotes con defectos más o menos serios.

El ensayo es del tipo de martillo de mano, cuyo golpe envía una onda de compresión a lo largo del fuste del pilote. Esta onda es reflejada por las discontinuidades del pilote, por su punta, o por cambios de sección o variaciones del terreno que lo rodea. Los movimientos consiguientes de la cabeza del pilote son captados por un acelerómetro. La señal del acelerómetro es amplificada y digitalizada por un sistema electrónico y convertida en medida de velocidad, que se presenta inmediatamente en la pantalla de un microcomputador portátil. La

curva obtenida se puede archivar en el disco duro del equipo para su posterior tratamiento e impresión mediante plotter o impresora. El gráfico de velocidad de un pilote continuo aparece en la pantalla como una línea relativamente recta con dos picos. El primero de ellos es el causado por el impacto del martillo, mientras que el segundo es causado por la reflexión en la punta del pilote.<sup>41</sup>

### **5.2.9.3 Formas y tipos de aplicación de carga.**

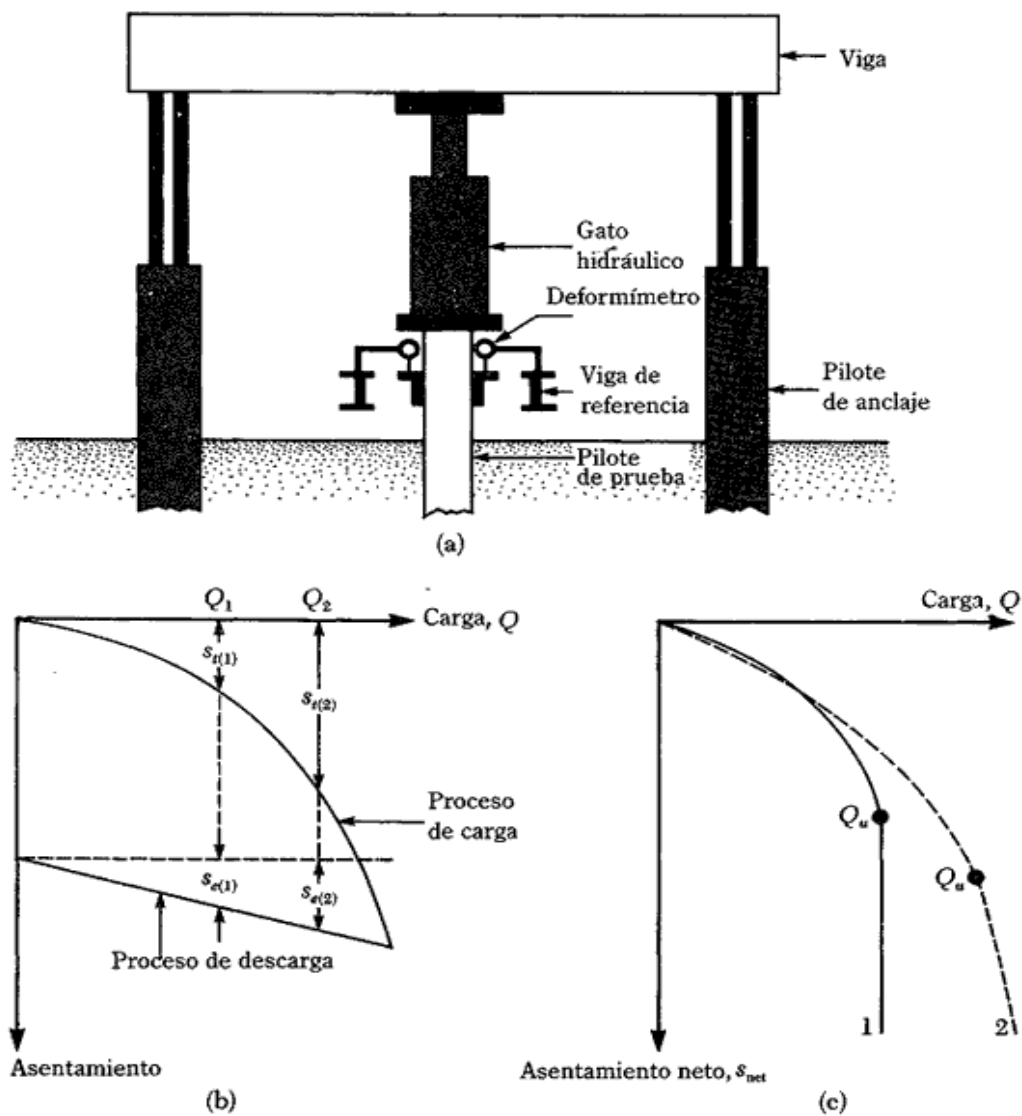
Los equipos para aplicar la carga a compresión pueden ser los de la norma ASTM-d-1143-81. "pilotes bajo carga axial estática de compresión", u otros, construidos de tal forma que la carga sea aplicada al eje central y longitudinal del pilote; el equipo del sistema de carga incluye una gata hidráulica, una bomba hidráulica y manómetros. La norma ASTM menciona los siguientes arreglos o dispositivos para aplicar la carga al pilote: carga aplicada al pilote o grupo de pilotes por gata hidráulica actuando frente a un marco de reacción anclado<sup>42</sup>.

---

<sup>41</sup> Pilotes. prueba de carga. [citado 28 abril 2017] Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos83/pruebas-cagra-pilotes/pruebas-cagra-pilotes.shtml#ixzz4g3C9nEZV>.

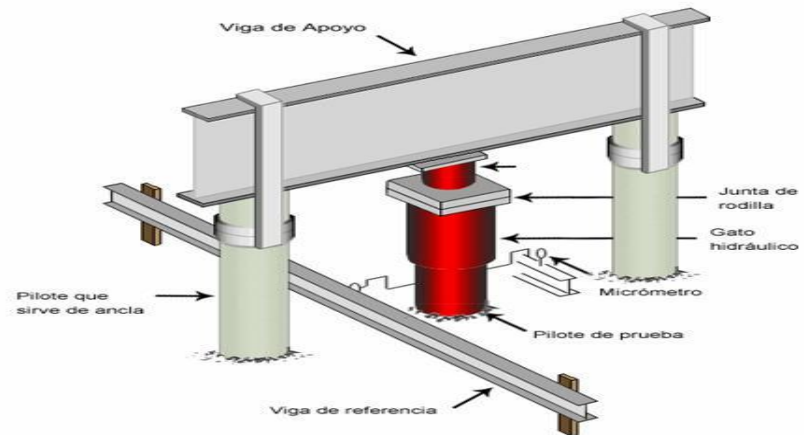
<sup>42</sup> Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR – 10. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Bogotá, AIS, 2010 pág. 378.

Figura 9. Ensayo Estático.



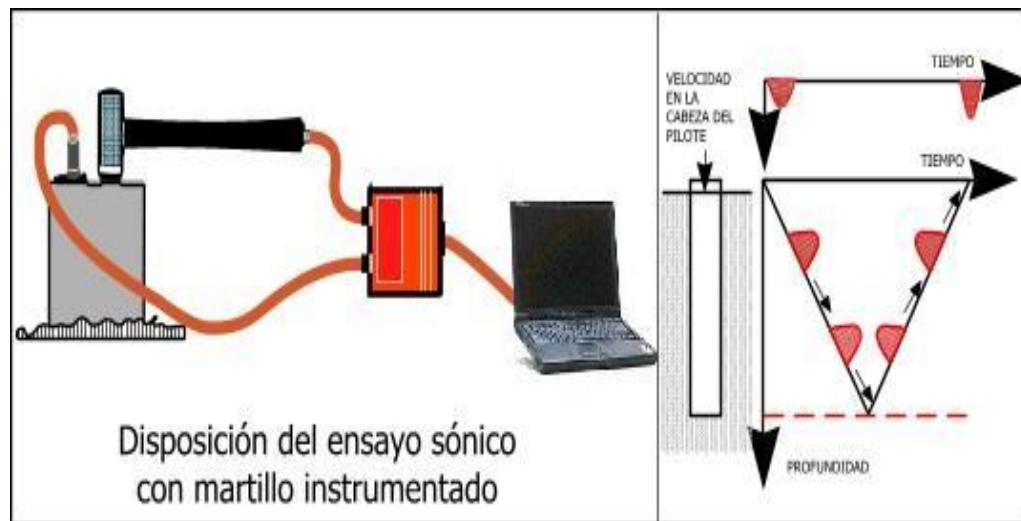
Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2012/12/pruebas-de-carga-en-pilotes.html>.

**b. Ensayo Estático.**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos83/pruebas-cagra-pilotes/pruebas-cagra-pilotes.shtml>. Jorge A. Watanabe Cabrera.

**Figura 10. Ensayo Sónico con martillo.**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos83/pruebas-cagra-pilotes/pruebas-cagra-pilotes.shtml>. Jorge A. Watanabe Cabrera.



### **5.2.10 Procedimientos de carga.**

Existen diversos tipos de procedimientos de carga, la norma ASTM-d-1143-81 resume la mayoría de éstos, pero tan sólo se presentarán los más comunes, que son: prueba de carga mantenida. Razón de penetración constante. Prueba de carga mantenida: llamada también ml y es el denominado por el ASTM-d-1143-81.

### **5.2.11 Criterios de carga de falla.**

El criterio más usado para definir la carga de rotura en un gráfico carga vs. Asentamiento, es aquel que muestra un cambio brusco en la curva obtenida, pero en la mayoría de los casos, la pendiente de la curva varía gradualmente, al no establecerse la carga de rotura. Otra observación hecha a este criterio, es que frecuentemente la escala adoptada para el trazado carga vs. Asentamiento, no es escogida con criterio bien definido, las gráficas presentan un comportamiento más plano que a menor temperatura donde se muestran más rígida ensayos de resistencia a tracción sobre el hormigón durante la construcción de la estructura<sup>43</sup>.

### **5.2.12 Ensayo Dinámico.**

También conocido como prueba de carga dinámica, el Ensayo Dinámico objetiva principalmente determinar la capacidad de ruptura de la relación entre el pilote y el suelo, para esfuerzos estáticos axiales. La medición se hace por medio de la instalación de sensores en el fuste, en una sección situada por lo menos dos veces el diámetro del pilote abajo de su cabeza. Las señales de los sensores son enviadas por cable al equipo PDA, donde son almacenadas y procesadas.

El Ensayo Dinámico es basado en la teoría de la onda. Hace mucho tiempo se sabe que una onda de tensión es generada cuando se le aplica un golpe a un pilote. Esa onda recorre el pilote con una velocidad fija, dependiente apenas de las características del material. Sin embargo, el inicio de la aplicación de esa teoría en la práctica data solamente de la década de 1960, con el progreso de los computadores y de la electrónica.

---

<sup>43</sup> Op.cit. pág.380

### **5.2.12.1 Sensores uso e instalación para estudios de pilotes.**

Los sensores para estudiar la deformación de los pilotes, son usados en dos pares de dispositivos en el pilote. El sensor de la derecha es un transductor de deformación específica, que genera una tensión proporcional a la deformación sufrida por el material del pilote durante el golpe. El sensor de la izquierda es un acelerómetro, que genera una tensión proporcional a la aceleración de las partículas del pilote.

#### **Imagen 17. Aplicación Carga pilote.**



Fuente: <http://www.pdi.com.br/franki.JPG> Consultado 30/04/2017.

#### **Información que se obtiene con el Ensayo Dinámico.**

El principal objetivo del Ensayo Dinámico es obtener la capacidad de ruptura del suelo. También tensiones máximas de compresión y de tracción en el material del pilote durante los golpes, se aplica al análisis también de pilotes hincados a

presión. Nivel de flexión sufrido por el pilote durante el golpe. Informaciones sobre la integridad del pilote, incluso la localización de eventual daño y estimativa de su intensidad. El sistema o programa usado. CAPWAP (Acrónimo de Case Pile Wave Análisis Programa) es un software que determina la capacidad de carga total de una fundación, así como la distribución de resistencia a lo largo del fuste y en la punta. El programa usa como datos de entrada las señales de fuerza y velocidad obtenidas con un PDA - Analizador de Hincado de Pilotes (Pile Driving Analyzer®). Es esencial hacer el pos-procesamiento con el programa CAPWAP de los datos del PDA referente a por lo menos uno de los elementos de fundación en un sitio. El programa CAPWAP completa el procedimiento de Prueba de Carga Dinámica y simula una Prueba de Carga Estática. <sup>44</sup>

### **Ensayo Dinámico en pilotes hincados.**

Existen dos maneras básicas de hacer el Ensayo Dinámico en pilotes hincados: Es posible instalar los sensores en el inicio de la hinca, y registrar los golpes mientras el pilote va penetrando en el suelo. Ese tipo de ensayo visa obtener informaciones como desempeño del sistema de hinca, riesgos de rotura.

### **Ensayo Dinámico resultados inmediatos.**

El PDA es capaz de calcular la capacidad de carga entre dos golpes sucesivos. Sin embargo, él lo hace usando un algoritmo simplificado, llamado "Método CASE". Ese resultado solo es válido para pilotes homogéneos, y tiene que ser confirmado posteriormente por al menos un análisis CAPWAP.

### **Ensayo Dinámico y la capacidad de carga estática.**

El Ensayo Dinámico lleva en consideración que el desplazamiento rápido del pilote en un medio viscoso como el suelo produce una resistencia estática y una dinámica. Esa última es restada de la resistencia total medida, siendo siempre informado apenas el valor de la resistencia estática. Es interesante saber que el

---

<sup>44</sup> Pilotes, Programa de Pruebas. [consultado 14 abr, 2017]. Disponible en: <http://pile.com/pdi/es/productos/capwap/>

PDA puede procesar los datos en unidades métricas, en el Sistema Internacional (SI)

### **Ensayo Dinámico usado en cualquier tipo de pilote.**

Sí, en prácticamente todo tipo de pilote. Es necesario apenas tener cuidado en el caso de pilotes con inyección bajo presión, donde grandes e imprevisibles variaciones de área de sección son posibles. Y moderadas variaciones imprevistas, como suele ocurrir en pilotes moldados "in situ".

### **Tipo de martillo usado.**

Es importante usar un martillo capaz de aplicar una energía que movilice lo máximo posible de la resistencia disponible del suelo. Es común un martillo ser capaz de hincar un pilote.

### **Normas sobre el Ensayo Dinámico**

- Australia (AS 2159-1995)
- Alemania (Comité 2.1 de la DGGT-recomendaciones para futura inclusión en la norma DIN)
- Brasil (NBR-13208)
- China (JGJ 106-97)
- Estados Unidos - Colombia (ASTM D 4945-89 y otras)
- Inglaterra (Specification for Piling - Institution of Civil Engineers - capítulo 11) <sup>45</sup>

### **Ensayo Dinámico vs Estático.**

El Ensayo Dinámico es de ejecución mucho más rápida que las pruebas estáticas, y tiene un costo más bajo y prácticamente independiente de la carga que se va a medir. Tiene también la ventaja de causar poco trastorno a la obra, una vez que

---

<sup>45</sup> Pilotes. OP.CIT.

no exige la parada de equipamientos al rededor del pilote bajo prueba. Es natural, por lo tanto, que haya interés en remplazar las pruebas estáticas por Ensayos Dinámicos. En el caso más común, si se desea apenas confirmar si los pilotes atienden a los requisitos de proyecto, carga y longitud (**Tabla 7**) con el Ensayo Dinámico solo puede ser suficiente. Caso por algún motivo desee determinar la real carga de ruptura de un pilote, será necesario efectuar una prueba de carga estática, necesariamente llevada hasta la ruptura (y no extrapolada, caso en que tendrá el mismo valor que el Ensayo Dinámico). En suelos con características poco comunes o desconocidas, es siempre aconsejable hacerse por lo menos una prueba estática de verificación, para comprobar si la metodología adoptada para los Ensayos Dinámicos es correcta. Es el caso de suelos que presentan relajación, donde el Ensayo Dinámico debe hacerse preferentemente bastante tiempo después de la hincada de los pilotes, y la capacidad determinada a través de un primer golpe de alta energía.<sup>46</sup>

**Tabla 7.** Capacidad de carga y longitud de hincado.

<u>TIPO DE PILOTE</u>	<u>CAPACIDAD PORTANTE</u> P (t)	<u>LONGITUD USUAL</u> H (m)
Madera	15 a 30	12 a 15
Acero sección H	50 a 90	18 a 30
Acero sección tubular	60 a 100	30 a 40
Prefabricados de concreto armado	40 a 80	15 a 25
Vaciados in situ	30 a 90	20 a 30
Mixtos o combinados	100 a 500	30 a 45
De bulbo	300 a 800	40 a 50

Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/02/tipos-de-pilotes-y-su-capacidad-de.html>. Consultado 28/04/2017.

<sup>46</sup> [Consultado 30 de abril de 2017] Disponible en: [http://jeoprobe.com/servicio\\_pilotes\\_pda.html](http://jeoprobe.com/servicio_pilotes_pda.html)

### 5.2.13 Documento técnico para pilotes hincados a presión.

Una de las maquinas utilizadas es ZYS Controlador Hidráulico Pila Estática - Hidráulico Pile Driver - Máquina de La Prensa Hidráulica. (**Imagen 18**) la Hincadora tiene un brazo hidráulico con el cual se coloca el pilote en el centro de los gatos que lo sujetan luego por transición vertical se hinca el pilote la carga se mide en presiones y se nivela a través de un equipo que trae incorporado el tablero, si el suelo hace un rechazo se colocan pesas suplementarias a los lados como elemento adicional de carga.

**Imagen 18. Piloteadora a presión.**



Fuente <http://es.sunward.com.cn/product/zhuang-gong-ji-xie.jsp>. Consultado 27/04/2017.

### Imagen 19. Especificaciones técnicas de la piloteadora.

FICHA TECNICA MAQUINA 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: Propia.

#### 5.2.14 lista de condiciones para hacer el hincado de pilotes en obra.

- ✓ Recibir el pilote
- ✓ Apilar el pilote de manera adecuada
- ✓ Tener plano de ubicación de pilotaje.
- ✓ Organizar recorrido de la maquina según programa del proyecto.
- ✓ Hacer nivelación topográfica de los puntos donde se hinca.
- ✓ Alistar el grupo de pilotes en el sector requerido.
- ✓ Izar el pilote.
- ✓ Centrar el pilote en la Hincadora a presión.
- ✓ Ubicar la maquina en el punto marcado
- ✓ Hacer la anotación y verificar el pilote que se va hincar.
- ✓ Hincado del pilote
- ✓ Verificación de verticalidad del pilote, un operario utiliza un nivel para revisar si hay alguna desviación.

- ✓ Corregir la verticalidad de la máquina, el tablero trae un nivel que debe ser verificado constante mente por el operador.
- ✓ Revisar nivel con el topógrafo para tener el tramo exacto de descabece del pilote.
- ✓ Hincado.

### **Consideraciones generales del hincado.**

- La punta del pilote deberá descansar por lo menos a las cotas indicadas en el informe de suelos, pero esta podrá ser modificada en caso necesario de mejorar esta condición, en el sitio durante la ejecución de los trabajos para lograr la reacción requerida.
- El concreto de los pilotes deberá quedar al nivel inferior de las vigas o cabezales sub-estructurales eventualmente proyectado. Todo recorte o complemento necesario en los pilotes para lograr esta cota.
- Respecto a la localización en planta de los pilotes, se aceptará una tolerancia del 2% de su diámetro según levantamiento topográfico, verificado constantemente.
- La tolerancia en el alineamiento vertical de la excavación del pilote, no deberá variar del alineamiento proyectado en más de 1% o un centímetro por metro (1 cm/m) de profundidad.
- El orden de hinca de los pilotes deberá ser establecido de acuerdo con el ingeniero residente de suelos de la obra. El ingeniero podrá elaborar el programa de avance de obra para ser aprobado por el comité de obra.
- No se podrá colocar concreto en ningún pilote sin previa aprobación del interventor o supervisor técnico de la obra, teniendo en cuenta los ensayos de calidad que se requieran.<sup>47</sup>
- El ingeniero deberá constatar si el subsuelo realmente corresponde a los perfiles stratigráficos indicados en el estudio de suelos. De no ser similar deberá dar aviso inmediato a fin de modificar como corresponde el diseño del pilotaje establecido.<sup>48</sup>

---

<sup>47</sup> Ibíd. Pág. 48.

<sup>48</sup> Disposiciones Técnicas; [Citado 04 Mar., 2017]. Disponible en: [http://www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1598&Itemid=1333](http://www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php?option=com_content&view=article&id=1598&Itemid=1333).



- Los pilotes deben ser fundidos teniendo en cuenta una longitud adicional de 1.0 m. En la cabeza, para descabece del concreto contaminado y los empalmes o traslapos que se requieran.<sup>49</sup>
- Todos los pilotes se reforzarán siguiendo las indicaciones del diseño estructural. Las cuantías y longitudes serán definidas por el ingeniero de estructuras.
- Los sobre volúmenes estimados con este procedimiento considerando la maquinaria, los errores de operación, los tiempos de excavación, los suelos Bogotanos, se han determinado en 1.5%

**Imagen 20. Izado de pilotes prefabricados.**



Fuente: Propia.

**Imagen 21. Ubicación del pilote según planos y topografía.**



Fuente: Propia.

Hincado a través de gatos hidráulicos, ubicación del pilote en el centro de la máquina, para sostener el pilote e hincarlo a presión (**Imagen 23**)

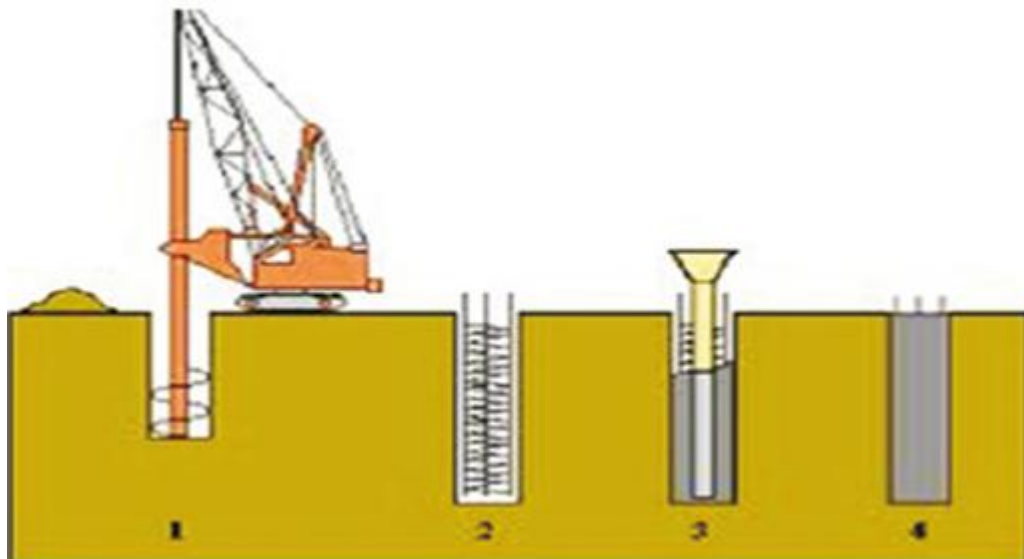
**Imagen 22. Hincado a presión.**



Fuente: Propia.

Otro sistema que utiliza es Pilotes fundidos en sitio con el sistema tremie o sistema de balas herméticas, (**Figura 11**), que no será motivo de estudio en este documento, pero es importante tener una referencia general de este, el proceso es; excavación hasta la profundidad requerida, luego se coloca acero de refuerzo en la perforación, se hace un llenado de concreto y se deja para que cumpla su tiempo de fraguado.

**Figura 11.** Pilotes fundidos en sitio con el sistema tremí o balas herméticas.



Fuente. [Http://www.idrd.gov.co/especificaciones 01/ 11 /2016](http://www.idrd.gov.co/especificaciones%2001/11/2016).

### **5.2.15 Especificaciones de pilotes.**

Las especificaciones del concreto, las dimensiones, pruebas de carga, número y localización serán indicadas en los planos y en las especificaciones particulares.<sup>50</sup> Esta especificación no aparece en estos, se deberá consultar inmediatamente al calculista para determinar este parámetro, dicha consulta estará a cargo del

---

<sup>50</sup> Código Técnico de la Edificación, Ministerio de Vivienda. CTE. [Citado 16 Mar., 2017]. Disponible en: <http://www.codigogeneral.org>.

ingeniero y deberá ser hecha por escrito en el libro de obra.<sup>51</sup> El ingeniero exigirá la limpieza del refuerzo con grata metálica del óxido, la grasa y mortero o cualquier otro elemento que al juicio de la interventoría no permita la adherencia de acero con el concreto. Se tendrán en cuenta adicionalmente los lineamientos de la NSR-10, en general los del capítulo C, G Y H

### **5.3 MARCO GEOGRAFICO.**

Esta investigación está hecha con base a estudios realizados en Bogotá, Colombia, en geotecnia y en la monografía realizada como propuesta de movilidad. del monorriel como sistema de interconexión, de la zona del Centro Internacional de Bogotá D.C. hasta el Aeropuerto el Dorado I y el Aeropuerto el Dorado II ubicado en el municipio de Facatativá del departamento de Cundinamarca en Colombia.<sup>52</sup>

### **5.4 MARCO JURIDICO.**

El documento estará regido en su totalidad por las normas generales vigentes de ICONTEC, INVIAS, AASTHO que se tienen dispuestas para la labor de la construcción en general y por su destinación y contenido la norma vigente al momento de elaborar el documento, Con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10 y sus decretos reglamentarios. **(Anexo 2: Cuadro de normas).**

## **6 DISEÑO METODOLOGICO.**

### **6.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.**

La investigación de este documento tuvo un enfoque cualitativo, la información se construirá en el documento final con soportes de estudios realizados en temas puntuales sobre pilotaje hincado a presión, elementos que son parte de todo el

---

<sup>51</sup> IDR D, Op.cit.

<sup>52</sup> Del monorriel como sistema de interconexión, de la zona del Centro Internacional de Bogotá D.C. hasta el Aeropuerto el Dorado I y el Aeropuerto el Dorado II

cuerpo de la guía, en el cual se determinara el valor de la información acorde a un análisis cualitativo de la misma.

## **6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

La investigación es de tipo descriptivo, se toma los documentos técnicos y se genera un documento a través de los conceptos existentes en la literatura respecto a los temas de importancia incluidos en el guía. Donde se describió de manera técnica el proceso de hincado de pilotes prefabricados en concreto reforzado aplicados a la cimentación profunda de los pilares del monorriel.

## **6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

Se desarrollará bajo literatura, con algunos elementos técnicos extraídos de obras conocidas, normas y conjunto de guías en ingeniería civil.

### **6.3.1 Población.**

El documento toma como referencia la implementación de este tipo de hincado en grandes estructuras, (Centro empresarial Pontevedra, constructora Amarillo. Centro empresarial AIA. Reservas de Fontibón, Constructora Las Galias. Son algunos ejemplos) y las utilizaciones en obras donde se halla realizado, teniendo en cuenta la ciudad de Bogotá D.C. El departamento de Cundinamarca y los municipios Madrid, Mosquera y Facatativá.

### **6.3.2 Muestra.**

No probabilístico, dirigido, se hará una recolección de información que está disponible en la literatura y las experiencias de las empresas que desarrollan esta actividad. Como: Disepil, Soletanche Bachy Cimas, Coex, Geo fundaciones.

## 6.4 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

### 6.4.1 (Dependientes, independientes, intermedias).

Variable		Indicador	Descripción	Medición
Independientes	Suelo	Tipos según zona de estudio	Identifica las zonas urbanas de Bogotá	Mapeos existentes
Dependientes	Pilotes	Dimensionamiento	De acuerdo a los factores se afecta	Tablas de diseño
Intermedias	Producción	Los agregados	Determinar la composición	Diseños de mezcla

## 6.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

Documentos de consulta, archivos propios y literatura técnica.

Equipos de cómputo. Papel de impresión. Cámara fotográfica. Memoria USB.

Cuaderno de apuntes.

## 6.6 FASES DE INVESTIGACIÓN.

Objetivos	Fases	Actividades
Identificar los conceptos generales que hacen parte de la elaboración de elementos prefabricados en concreto reforzados para cimentación profunda requerida para una estructura típica de monorriel en las zonas de Bogotá, que	1 preliminar este trabajo es de recolección de información para después incluirla en la guía.	Recopilación información general. Recopilación información técnica. Identificar los elementos que componen la guía.

intervienen en la propuesta de monorriel entre el Centro Internacional y el Aeropuerto 1 y 2.		
Determinar contenido de la guía, según la información requerida para la producción, transporte e implementación de elementos prefabricados en concreto reforzado.	2 fase de conceptualización, se evidencia en el documento denominado guía	Formar los conceptos que integran el documentó. Hacer la limitación del guía. Elaborar los capítulos del guía.

### 6.7 CRONOGRAMA.

48 semanas			
Actividad	Día	Tiempo designado	Unidad
Planeación de la investigación.	Lunes	4	Horas
Elaboración tabla contenido	Martes	6	Horas
Recolección de información.	Miércoles	5	Horas
Organización de información.	Jueves	6	Horas
Selección de información.	Viernes	4	Horas
Normas vigentes	Sábado	2	Horas
Selección de imágenes	Domingo	3	Horas
Organización del documento	Tesis	30	1440

## 6.8 PRESUPUESTO.

Costos generales.		Tiempo	
Servicio - producto	Costo	Horas	Total
Internet	\$ 20000	720	\$ 1.440.000
Horas de trabajo.	\$ 15000	540	\$ 8.100.000
Compra libro	\$ 40.000	1	\$ 40.000
Compra material	\$ 20.000	1	\$ 20.000
Anillado	\$ 10.000	2	\$ 10.000
Transportes	\$ 8.000	60	\$ 480.000
Papelería	\$ 70.000	1	\$ 200.000
			\$ 10.290.000



## **7 RESULTADOS Y ANÁLISIS.**

**ANEXO 1:** GUÍA PARA HINCADO A PRESIÓN DE PILOTES PREFABRICADOS DE CONCRETO REFORZADO, EN CIMENTACIÓN PROFUNDA, CON BASE EN REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR10).

## **8 CONCLUSIONES.**

- Identificamos mediante información recopilada de los procesos de pilotaje hincado a presión los conceptos generales de la producción y utilización de este sistema
- Determinamos el contenido de la guía especificando por pasos las condiciones de producción, transporte y aplicación de acuerdo al tipo de suelo para el hincado a presión de los pilotes en concreto reforzados en los pilares del monorriel para los aeropuertos el Dorado I y II a el centro internacional con base en el reglamento NSR-10
- Se elaboró el documento Guía – Pilotes prefabricados hincados a presión en cimentación profunda, con base en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resiste NSR-10 y la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP 14

## **9 RECOMENDACIONES.**

- Recomendamos que la guía quede en proceso de implementación y constante actualización en investigaciones posteriores.
- Sugerimos que el estudio del manejo de estas tecnologías de movilidad como el monorriel, se incorpore a los semilleros de investigaciones académicas de Ingeniería.
- Invitamos a elaborar planes y estudios de movilidad, teniendo en cuenta estas nuevas propuestas, como el monorriel, que son viables para Bogotá.
- Proponemos que se debe hacer un estudio más profundo de la estratificación de los suelos de la sabana de Bogotá D.C. y los municipios que integran la ruta mencionada, entre el Centro Internacional y el Aeropuerto el Dorado I y el Dorado II.
- Incentivamos desde la investigación propuesta, trabajar desde el área que corresponda a la academia, para elaborar este tipo de documentos, que son de fácil manejo y gran importancia como herramienta ingenieril.

## 10 REFERENCIAS.

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

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

Centro de Ingeniería rural, Universidad Castilla, Cimentaciones. [Citado 10 feb., 2017]. Disponible en: [http://www.uclm.es/area/ing\\_rural/trans\\_const/tema24.pdf](http://www.uclm.es/area/ing_rural/trans_const/tema24.pdf)

Concreservicios S.A.S. Puente tercer nivel calle 92 [en línea] [consultado 14 abr, 2017] disponible en: <http://site.concreservicios.com.co/index.php/puente-tercer-nivel-calle-92/>.

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

ESCOBAR LÓPEZ, German y corredor colorado, Guillermo. Puente de tercer nivel, calle 92 sobre autopista norte, Bogotá. En: técnicas no convencionales en puentes: la revista de la técnica y la construcción Noticreto. Dic 2015. No. 670 I SSN 0120-8489, p. 20-26.

Escuela Ingeniería Civil, Estructuras I. [citado 11 feb., 2017]. Disponible en: <http://estructuras.eia.edu.co/estructuras/conceptos%20fundamentales/conceptos%20fundamentales.htm>.

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

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

Fundación Musaat. Documentos de orientación técnicas en edificación. Cimentaciones profundas: pilotes [citado 10 abr, 2017] disponible en [http://www.fundacionmusaat.musaat.es/files/cp\\_2.pdf](http://www.fundacionmusaat.musaat.es/files/cp_2.pdf).

Geo Soluciones S.A.S Ingeniería Geotécnica y Sísmica. [Citado 28 mar., 2017]. Disponible en: [www.geosoluciones.com.co](http://www.geosoluciones.com.co).

GARZA VÁSQUEZ Luis., Diseño y construcción de cimentaciones Tesis Maestría Universidad nacional de Colombia. Medellín facultad nacional de minas Medellín junio, 2000.

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

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.

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

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

MOYA, Julio y ESCOBAR, German. Puente de tercer nivel calle 92. En iv encuentro de ingenieros de suelos y estructuras. Foro Internacional sobre microzonificación sísmica [en línea]. [Citado 15 abr, 2017] disponible en: <http://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros>.

NEVILLE, Adam, tecnología del concreto, 3 Ed, México: trillas editores 2010 pág. 14.

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

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

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

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

RIVERA, Gerardo. Agua de mezcla. En: Concreto simple. [Citado 28 abr, 2017]. Disponible en: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf>

SALAMANCA, John Eduardo, GÓMEZ GONZÁLEZ, Miguel Eduardo. Tesis Modelación numérica de hincado de pilotes a presión olmos universidad católica de Colombia Facultad de Ingeniería programa de Ingeniería Civil Bogotá D.C. 2013.

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

SAUCEDO SULCER, Mariano. Pilotes Terratest: aplicación de muros de pilotes en obras viales en Lima. [En línea] [Citado 10 abr, 2017] disponible en [http://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/muros\\_pilotes\\_obras\\_viales\\_mariano\\_saucedo.pdf](http://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/muros_pilotes_obras_viales_mariano_saucedo.pdf).

SAUCEDO SULCER, Mariano. Pilotes. Aplicación de muros de pilotes en obras viales en La Paz. En presupuesto & construcción: revista pyc. 2016. No 62 p. 4-8. Terratest cimentaciones. Pilotes prefabricados pretensados. Hinca [en línea] [consultado 26 ene. 2017]. Disponible en, <http://www.terratest.es/descargas/catalogopretensados.pdf>.

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](http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/Microzonificacion_de_Bogota_1993.pdf)

Universidad de Piura, guía para el diseño de pilotes, [citado 16 feb., 2017]. Disponible: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1370/ici\\_114.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1370/ici_114.pdf).

## **11 ANEXOS.**

11.1 GUIA PILOTES PREFABRICADOS HINCADOS A PRESIÓN EN CIMENTACIÓN PROFUNDA, CON BASE EN EL REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10. CON APLICACIÓN A LOS PILARES.

### **11. 2 LISTADO DE NORMAS GENERALES DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN.**

LISTADO DE NORMAS
PROCESOS
NO DE NORMA
<b>CONCRETO</b>
ASTM - C 490
CONTRACCIÓN DEL CONCRETO
NTC - 454
TOMA DE MUESTRAS
NTC - 3459
AGUA PARA ELABORAR CONCRETO
NTC - 550
ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO
NTC - 3318
PRODUCCION DE CONCRETO
NTC - 3692
ENSAYO DE ESCLERÓMETRO
NTC - 3759
MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO

NTC - 3502
ADITIVOS INCORPORADORES DE AIRE PARA CONCRETO
NTC - 3760
CONCRETO CLAREADO INTEGRALMENTE - ESPECIFICACIONES CON PIGMENTOS
NTC - 3756
MÉTODO DE RESISTENCIAS DEL CONCRETO POR MÉTODO DE MADUREZ
NTC - 5222
ENSAYO PARA MEDIR FLUJO LIBRE ,RESTRINGIDO Y SEGREGACIÓN EN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE
SCC -GUIDELINESS MAY 2005 ( EUROPEA )
ELABORACIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE
NTC - 396
ASENTAMIENTO
NTC - 3546
EVALUACIÓN EN EL LABORATORIO Y EN OBRA DE MORTEROS PARA UNIDADES DE MAMPOSTERÍA
NTC - 4344
ELABORACIÓN EN OBRA , CURADO Y ENSAYO DE ESPECÍMENES CONCRETO LANZADO
NTC - 3546
CONSISTENCIA
NTC - 3512
CÁMARA DE ENSAYO , CUARTOS HÚMEDOS
NTC - 4025
MODELO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON EN EL CONCRETO
NTC - 4859
RELLENO FLUIDO
NTC - 3725
MÉTODO NUCLEARES PARA DETERMINAR EN SITIO LA DENSIDAD DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO
NTC - 722
RESISTENCIA A LA TENCIÓN INDIRECTA
NTC - 4027
CONCRETO HECHO POR BACHADA VOLUMÉTRICA Y MEZCLADO CONTINUO
NTC - 5216
ELABORACIÓN DE CILINDROS DE RELLENO FLUIDO
NTC - 504
REFRENTADO ESPECÍMENES DE CONCRETO
NTC - 3708



USO DE REFRENTADO NO ADHERIDO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS
NTC - 4023
ADITIVOS QUÍMICOS PARA PRODUCCIÓN DE CONCRETO FLUIDO
NTC - 1294
DETERMINACIÓN DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO
NTC - 2275
EVALUACIÓN RESISTENCIAS CONCRETO
NTC - 1028
DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO MÉTODO VOLUMÉTRICO
NTC - 1032
CONTENIDO DE AIRE
NTC - 3713
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO USANDO EN PARTES DE VIGAS ENSAYADAS A FLEXIÓN
NTC - 4325
VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONIDO
NTC - 4088
TIEMPOS DE FRAGUADO DE MORTERO DE CEMENTO HIDRÁULICO MEDIANTE EL APARATO DE VICAT MODIFICADO
NTC - 1926
RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO
NTC- 1513
ELABORACIÓN Y CURADO ACELERADO Y ENSAYO A COMPRESIÓN DE ESPÉCIMEN DE CONCRETO
NTC - 3752
CONTENIDO DE AGUA EN EL CONCRETO FRESCO
NSR - 98
MUESTREO DE CONCRETO POR VOLUMEN
NTC - 4027
MUESTREO U ENSAYO DE MORTERO DE INYECCIÓN ( GRAUNT)
NTC - 3707
DETERMINACIÓN DE LA FLUENCIA DEL CONCRETO EN COMPRESIÓN
NTC - 385
TERMINOLOGÍA RELATIVA AL CONCRETO Y SUS AGREGADOS
NTC - 1299
ADITIVOS QUÍMICOS PARA CONCRETO
NTC - 1377

ELABORACIÓN CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE LABORATORIO
NTC - 4483
MORTERO LARGA VIDA
NTC - 3357
TEMPERATURA
NTC - 3658
EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS
NTC - 3693
MUESTREO EN CONSTRUCCIONES DE CONCRETO ENDURECIDO
NTC - 3696
DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE FLUIDEZ DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS A TRAVÉS DE UN CONO DE ASENTAMIENTO INVERTIDO
NTC - 3658
RESISTENCIA A COMPLECIÓN DE NÚCLEOS
NTC - 673
ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPLECIÓN DEL CONCRETO
NTC - 2871
ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO
NTC - 890
TIEMPOS DE FRAGUADO
NTC - 3318
UNIFORMIDAD DEL CONCRETO
<b>AGREGADOS</b>
NTC - 175
REACTIVIDAD POTENCIAL
NTC - 129
TOMA DE MUESTRAS
I. N. V. E - 227
% DE CARAS FRACTURAS
NTC - 589
% DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES
I. N. V. E - 150 - 07
CONTENIDO DE HUMEDAD MEDIANTE UN PROBADOR CON CARBURO DE CALCIO
NTC - 1776
CONTENIDO DE HUMEDAD
NTC - 4022
MASA UNITARIA DEL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL

NTC - 2240
AGREGADOS USADOS EN MORTEROS DE MAMPOSTERÍA
NTC - 93 Y 98
DESGASTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES
NTC - 3674
TOMA DE MUESTRA DE AGREGADOS EN CAMPO PARA ENSAYOS
NTC - 174
ESPECIACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO
NTC - 78
DETERMINACIÓN POR LAVADO DEL MATERIAL QUE PASA POR TAMIZ 200
NTC - 77
TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS
NTC - 176
DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
NTC - 589
% DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES DE LOS AGREGADOS
NTC - 579
IMPUREZAS DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS
NTC - 237
DENSIDAD Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
NTC - 92
MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS DE LOS AGREGADOS
NTC - 127
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA
I. N. V. E - 133
EQUIVALENTE DE ARENA
I. N. V. E - 230
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS
NTC - 1522
GRANULOMETRÍA ( MATERIAL GRANULAR )
NTC - 1494
LIMITE LIQUIDO ( MATERIAL GRANULAR )
NTC - 1493
LIMITE PLÁSTICO ( MATERIAL GRANULAR )
NTC - 130
PARTÍCULAS DE LIVIANAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS
NTC - 126

SANIDAD O SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS
<b>CEMENTO</b>
NTC - 4018
CONTENIDO DE AIRE EN EL MORTERO CON ESCORIA
NTC - 3938
APARATOS PARA DETERMINAR CABIOS DE LONGITUD EN PASTA CEMENTO MORTERO Y CONCRETO
NTC - 110
ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMA ( PASTA DE CEMENTO HIDRÁULICO )
NTC - 118
TIEMPOS DE FRAGUADO APARATO DE VICAT ( PASTA DE CEMENTO HIDRÁULICO )
NTC - 121
CEMENTO PORTLAND ESPECIFICACIÓN FÍSICAS Y MECÁNICA
NTC - 297
FRAGUADO RÁPIDO POR CEMENTO HIDRÁULICO ( PASTA DE CEMENTO HIDRÁULICO )
NTC - 4018
ÍNDICE DE ACTIVIDAD HIDRÁULICA DE LAS ESCORIA EN ALTO HORNO CON RELACIÓN AL % A 7 DÍAS
NTC - 33
ENSAYO DE FINURA BLAINE
NTC - 111
ENSAYO DE FLUIDEZ ( MESA DE FLUJO )
NTC - 108
EXTRACCIÓN DE MUESTRAS Y CANTIDAD DE ENSAYOS PARA CEMENTO
NTC - 220
PROPORCIONES DE LA MEZCLA ( ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPLECIÓN )
NTC - 3726
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND DEL CONCRETO DE CEMENTO HIDRÁULICO ENDURECIDO
NTC - 221
ENSAYO DE DENSIDAD
NTC - 294
ENSAYO DE FINURA ( % QUE PASA POR MALLA NO 325 )
<b>SUELOS</b>
I. N. V. E - 806
DENSIDAD MÁXIMA EN EL LABORATORIO SUELO - CEMENTO ( ELABORACIÓN DE PROBETAS)
I. N. V. E - 807 - AASTHO - 135 -94

ENSAYO DE HUMEDECIMIENTO Y SECADO SUELO CEMENTO
NTC - 1495
CONTENIDO DE HUMEDAD
NTC - ISO 10012
SISTEMA DE MEDICIÓN Y EQUIPOS DE MEDICIÓN
NTC - 5147
ENSAYO DE DESGASTE CON DISCO ANCHO
METROLOGÍA
NTC - ISO 7500 - 1
VERIFICACIÓN MÁQUINAS PARA ENSAYO UN AXIALES ESTÁTICOS ( 1 PARTE MÁQUINAS DE TENSIÓN )
NTC - 1848
PESAS DE PRESIÓN
NTC - 2031
INSTRUMENTOS DE PESAJE DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO
NTC -20225

Fuente: Autores