



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES**

**PILOTES PRE-EXCAVADOS PARA PUENTES CARRETEROS.
METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA Y ENSAYOS DE
CAPACIDAD E INTEGRIDAD.**

CRISTIÁN LUIS ZACUR ESPINACE

Profesor Guía: Mauricio Guzmán S.
Profesor Comisión: Sandra Achurra.
Profesor Examinador: Enrique Álvarez.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN OBRAS CIVILES

**SANTIAGO - CHILE
JULIO, 2012**

A mis padres, hermanos y amigos,
que me dieron su apoyo y aliento a
mis esfuerzos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Don Mauricio Guzmán, profesor guía, por darme la posibilidad de realizar esta memoria, su tiempo dedicado y sugerencias al igual que a Doña Sandra Achurra.

Al Jefe del Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas de Chile, Don Jorge Campusano, por contactarme con Don Manuel Carracedo y Benjamín Moya del Departamento de Puentes del M.O.P y darme la posibilidad de ir a visitar la construcción de un puente en María Pinto, poniéndome en contacto con los profesionales a cargo en terreno, en especial a Don Marcelo Chacón, Inspector Fiscal, Hernán Tassara, Ingeniero Residente, Kárem Quero, Asesoría.

Agradecer también a mis amigos, que aportaron con información que fue relevante para la memoria en especial a Juan Ignacio del Río y Alberto Scholz.

A la empresa Constructora, Lambda Ltda, SALFA Corp, Asesoría Bogado, Pilotes Terratest, por facilitarme información y material fundamental para poder concretar mi tesis. A todos ellos con gran afecto muchas gracias.

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de la presente memoria es mostrar los diferentes métodos de construcción de pilotes pre-excavados en puentes carreteros chilenos, describiendo la técnica utilizada con el apoyo de maquinaria pesada a través de esquemas detallados.

Esta memoria está dirigida a ingenieros geotécnicos, civiles, estructurales y constructores que estén relacionados con la construcción de pilotes pre-excavados en puentes. Abordando temas de diseño, mecánica de suelos, ensayos en terreno, costos asociados y problemas durante la construcción.

En primer lugar se muestra la terminología y elementos del puente, con la cual es descrita la memoria con el objetivo de dar a conocer el procedimiento y tipos de suelos.

Los pilotes pre-excavados en puentes, son elementos estructurales de hormigón armado relativamente largos en relación a su diámetro que puede ser de 1.0, 1.2 y 1.5 metros en comparación a la longitud que generalmente es entre 15 y 20 metros. Las dimensiones del pilote, dependerán de los resultados obtenidos según el estudio de mecánica de suelos y la estructuración del puente.

La construcción debe realizarse basado en los planos de cálculo, especificaciones técnicas y bases generales del proyecto, para que el elemento pueda cumplir con su función de trasladar las cargas a estratos de suelo profundos y competentes mediante el roce lateral producido por la resistencia del fuste y la resistencia por punta.

INDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| Índice de Tablas..... | 1 |
| Índice de Figuras..... | 2 |
| I. Capítulo I – Introducción..... | 5 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 6 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 6 |
| II. Capítulo II – Glosario..... | 7 |
| III. Capítulo III - Descripción de los Puentes..... | 16 |
| 3.1 Elementos Principales de un puente carretero..... | 17 |
| 3.2 Clasificación de los puentes por longitud..... | 17 |
| 3.3 Clasificación de los puentes por Calzada..... | 18 |
| 3.4 Tipos de puentes..... | 18 |
| 3.5 Perfiles de un puente e interpretación de planos..... | 19 |
| 3.6 Requerimientos de Estudio e Ingeniería Básica..... | 20 |
| 3.7 Aspectos Geotécnicos..... | 20 |
| 3.7.1 Ensayo SPT (Standard Penetration Test)..... | 21 |
| 3.8 Clasificación del Suelo..... | 24 |
| 3.9 Aspectos de Diseño..... | 27 |
| 3.10 Construcción de Puentes..... | 27 |
| IV. Capítulo IV – Descripción de los Pilotes Pre-excavados (In-situ)..... | 28 |
| 4.1 Clasificación Morfológica de Pilotes..... | 29 |
| a) Pilotes por Fuste..... | 29 |
| b) Pilotes por Punta..... | 29 |
| 4.2 Especificaciones Técnicas de los Materiales..... | 32 |
| 4.2.1 Acero de refuerzo..... | 32 |
| 4.2.2 Hormigón..... | 34 |
| 4.3 Geometría y diseño del pilote..... | 35 |
| 4.4 Distribución típica de pilotes..... | 39 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.6 | Estribos Típicos con Pilotes..... | 40 |
| 4.7 | Cepas Típicas con Pilotes..... | 41 |
| V. | Capítulo V – Maquinaria Utilizada..... | 43 |
| 5.1 | Máquinas piloteras..... | 44 |
| 5.2 | Máquina pilotera Bauer BG-24 H..... | 45 |
| 5.2.1 | Componentes y dimensiones en [mm] de la máquina pilotera BG-24H..... | 46 |
| 5.2.2 | Especificaciones Técnicas de la máquina pilotera BG-24 H..... | 48 |
| 5.2.3 | Profundidad de la perforación de la BG-24 H y uso del kelly..... | 49 |
| 5.3 | Elementos de perforación de la pilotera..... | 50 |
| 5.4 | Elementos Auxiliares de la pilotera..... | 50 |
| 5.5 | Equipos auxiliares utilizados..... | 51 |
| VI. | Capítulo VI - Métodos Constructivos de Pilotes Pre-excavados para Puentes.... | 52 |
| 6.1 | Medidas preventivas y seguridad laboral..... | 54 |
| 6.2 | Aspectos Generales..... | 55 |
| 6.3 | Definición del frente de trabajo..... | 56 |
| 6.4 | Recepción del acero en la instalación de faena..... | 58 |
| 6.5 | Preparación del área de trabajo..... | 59 |
| 6.6 | Trazado del pilote..... | 62 |
| 6.7 | Posicionamiento de la pilotera..... | 63 |
| 6.8 | Control de perforación..... | 64 |
| 6.9 | Encamisados..... | 67 |
| 6.10 | Colocación de las armaduras..... | 68 |
| 6.11 | Hormigonado con tubo tremie..... | 71 |
| 6.12 | Perforación por rotación en seco con uso de hélice..... | 77 |
| 6.13 | Perforación por rotación con lodos bentoníticos con uso de barril excavador..... | 79 |
| 6.14 | Perforación por rotación con camisa recuperable con uso de hélice..... | 82 |
| 6.15 | Perforación por rotación con camisa perdida con uso de hélice..... | 87 |
| 6.16 | Perforación con cuchara bivalva (almeja) y camisa recuperable..... | 89 |
| 6.17 | Pilote terminado..... | 91 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 6.18 | Descabezado del pilote..... | 91 |
| 6.19 | Ventajas y Desventajas en Pilotes Pre-excavados..... | 94 |
| VII. | Capítulo VII - Problemas Constructivos y Soluciones..... | 95 |
| 7.1 | Discontinuidad en la construcción del pilote..... | 96 |
| 7.2 | Corte del pilote por filtración de napa artesiana..... | 96 |
| 7.3 | Erosión por falta de impermeabilidad de la isla..... | 97 |
| 7.4 | Arrancamiento de la armadura por extracción de camisa abollada..... | 98 |
| 7.5 | Estrangulamiento causado por desprendimientos internos dentro del pilote por retiro de camisa..... | 98 |
| VIII. | Capítulo VIII - Ensayos de Capacidad e Integridad..... | 99 |
| 8.1 | Ensayo de capacidad por carga estática..... | 99 |
| 8.1.1 | Ensayo de carga por mantenimiento MLT (<i>Maintaned Load Test</i>)..... | 100 |
| 8.1.2 | Ensayo de penetración a razón constante CRP (<i>Constant Rate of Penetration Test</i>)..... | 102 |
| 8.2 | Ensayo de capacidad por carga dinámica..... | 103 |
| 8.2.1 | Ensayo de carga dinámica PDA (<i>Pile Driving Anayzer</i>)..... | 103 |
| 8.3 | Criterios para realizar los ensayos de carga..... | 104 |
| 8.3.1 | Para realizar ensayos de carga es necesario..... | 104 |
| 8.3.2 | Preparación y mantenimiento del área de ensayo..... | 104 |
| 8.4 | Ensayo de integridad para pilotes..... | 105 |
| 8.4.1 | Transparencia sónica..... | 105 |
| 8.4.2 | Impedancia mecánica o Ensayo por eco reflexión PIT (<i>Pile Integrity Test</i>).... | 106 |
| 8.4.3 | Sondeo sónico a lo largo del pilote (<i>Cross Hole, CSL</i>)..... | 109 |
| IX. | Capítulo IX – Caso Aplicado, Cálculo del Presupuesto y Rendimiento..... | 110 |
| 9.1 | Precio unitario pilote pre-excavado (In Situ)..... | 111 |
| 9.2 | Tiempos de construcción y operación en obra..... | 113 |
| X. | Capítulo X – Conclusiones..... | 113 |
| | Referencias Bibliográficas | 116 |

| | |
|--|------------|
| Anexos..... | 119 |
| Anexo 1 - Corte longitudinal y Planta general, Puente Ranchillo..... | 120 |
| Anexo 2 - Vista frontal cepa y Planta cepa, Puente Ranchillo..... | 121 |
| Anexo 3 - Vista frontal y corte, Plano enfierradura, Puente Ranchillo..... | 122 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabla 3.1: | Prospecciones recomendables en puentes..... | 23 |
| Tabla 3.2: | Definición de los tipos de suelos de fundación, según el Manual de Carreteras 2012..... | 24 |
| Tabla 3.3: | Clasificación de suelos (USCS)..... | 25 |
| Tabla 3.4: | Clasificación de suelos AASHTO..... | 26 |
| Tabla 3.5: | Capacidad de soporte del suelo (rango tensión admisible)..... | 26 |
| Tabla 4.1: | Ejemplos de puentes que tienen pilotes pre-excavados..... | 42 |
| Tabla 5.1: | Notación de la pilotera por marca..... | 44 |
| Tabla 5.2: | Especificaciones técnicas de la máquina pilotera BG-24 H..... | 48 |
| Tabla 5.3: | Arriendo de equipos y maquinaria pesada..... | 51 |
| Tabla 8.1: | Calidad del hormigón en ensayos no destructivos por velocidad de ultrasonido..... | 105 |
| Tabla 9.1: | Presupuesto de pilotes pre-excavados..... | 112 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------|---|----|
| Figura 3.1: | Elementos principales de un puente..... | 17 |
| Figura 3.2: | Perfiles de un puente..... | 19 |
| Figura 3.3: | Esquema del ensayo SPT..... | 22 |
| Figura 4.1: | Esquema de fundación profunda..... | 30 |
| Figura 4.2: | Resistencia v/s desplazamiento del pilote..... | 31 |
| Figura 4.3: | Esquema de una cepa con un grupo de pilotes..... | 35 |
| Figura 4.4: | Diseño correcto e incorrecto del pilote, perfil transversal..... | 36 |
| Figura 4.5: | Corte transversal de pilotes pre-excavados con armaduras típicas..... | 36 |
| Figura 4.6: | Esquema de un pilote pre-excavado..... | 38 |
| Figura 4.7: | Distribución típica de pilotes..... | 39 |
| Figura 4.8: | Estribo - columna - dado de fundación – pilotes..... | 40 |
| Figura 4.9: | Estribo - muro lleno con alas - dado de fundación –pilotes..... | 40 |
| Figura 4.10: | Estribo - pila – pilotes..... | 40 |
| Figura 4.11: | Cepa - columna - dado de fundación – pilotes..... | 41 |
| Figura 4.12: | Cepa - muro lleno - fundación – pilotes..... | 41 |
| Figura 4.13: | Cepa - muro con celda - fundación – pilotes..... | 41 |
| Figura 4.14: | Cepa - pila – pilotes..... | 41 |
| Figura 5.1: | Maquinaria pesada más relevante en la construcción de pilotes..... | 43 |
| Figura 5.2: | Piloterías Bauer más usadas..... | 44 |
| Figura 5.3: | Componentes y dimensiones en [mm] de la pilotera BG-24 H..... | 46 |
| Figura 5.4: | Dimensiones en [mm] de la pilotera BG-24 H con mástil extendido... | 47 |
| Figura 5.5: | Dimensiones en [mm] de la pilotera BG-24 H con mástil sin extender | 47 |
| Figura 5.6: | Dimensiones en [mm] de la cabeza de rotación (guía para kelly)..... | 47 |
| Figura 5.7: | Profundidad de perforación de la pilotera BG-24..... | 49 |
| Figura 5.8: | Elementos de perforación..... | 50 |
| Figura 5.9: | Elementos auxiliares de la pilotera..... | 50 |
| Figura 6.1: | Frente de trabajo..... | 56 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Figura 6.2: | Formulario resumen solicitud de extracción mecanizada de áridos de cauces..... | 57 |
| Figura 6.3: | Descarga y recepción de las barras de acero en obra..... | 58 |
| Figura 6.4: | Procedimiento constructivo de la plataforma de trabajo en ríos..... | 59 |
| Figura 6.5: | Plataforma de trabajo en Puente Chacabuco, río Biobío, Concepción. | 60 |
| Figura 6.6: | Plataforma de trabajo en Puente Chacabuco, río Biobío, Concepción. | 60 |
| Figura 6.7: | Plataforma de trabajo en Puente Quelhue, río Trancura, Pucón..... | 61 |
| Figura 6.8: | Islas de trabajo en Puente Llacolén, río Biobío, Concepción..... | 61 |
| Figura 6.9: | Ejemplo de replanteo con lienza y estacas..... | 62 |
| Figura 6.10: | Trazado del pilote con tiza..... | 62 |
| Figura 6.11: | Posicionamiento de la pilotera..... | 63 |
| Figura 6.12: | Ficha informe topográfico para pilotes N°1..... | 65 |
| Figura 6.13: | Ficha informe topográfico para pilotes N°2..... | 66 |
| Figura 6.14: | Camisas acopiadas en instalación de faena..... | 67 |
| Figura 6.15: | Amarra retorcida con alambre negro N°18..... | 68 |
| Figura 6.16: | Confección del canasto o armadura..... | 69 |
| Figura 6.17: | Armaduras de pilotes con calugas de hormigón, dispuestas cada 150 cm..... | 69 |
| Figura 6.18: | Colocación de malla o armadura y altura de izado..... | 70 |
| Figura 6.19: | Separador DSWS (acero), recubrimientos de 60 a 150 mm..... | 70 |
| Figura 6.20: | Jaula con tramos del tubo tremie sin colocar..... | 71 |
| Figura 6.21: | Ensayo de cono de abrams 18 cm, hormigón fluido..... | 72 |
| Figura 6.22: | Vaciado de hormigón con uso de tubo tremie..... | 73 |
| Figura 6.23: | Fases de hormigonado mediante tubo tremie..... | 74 |
| Figura 6.24: | Ficha de registro diario de faena de hormigón en un pilote..... | 75 |
| Figura 6.25: | Ficha de control de ejecución de pilotes pre-excavados..... | 76 |
| Figura 6.26: | Esquema de perforación por rotación en seco..... | 78 |
| Figura 6.27: | Piscina de lodos bentoníticos..... | 79 |
| Figura 6.28: | Lodo colocado en la excavación del pilote..... | 80 |
| Figura 6.29: | Esquema de perforación por rotación con lodos bentoníticos..... | 81 |
| Figura 6.30: | Sistema macho y hembra de camisas recuperables..... | 82 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura 6.31: | Secuencia de excavación y encamisado..... | 83 |
| Figura 6.32: | Excavación con barril excavador y camisa recuperable..... | 84 |
| Figura 6.33: | Esquema de vaciado de hormigón con el uso de camisa recuperable.. | 85 |
| Figura 6.34: | Esquema de perforación con camisa recuperable..... | 86 |
| Figura 6.35: | Esquema de perforación por rotación con camisa perdida..... | 88 |
| Figura 6.36: | Perforación con cuchara bivalva (almeja) y camisa recuperable..... | 89 |
| Figura 6.37: | Esquema de perforación con almeja y entubación recuperable..... | 90 |
| Figura 6.38: | Pilote terminado..... | 91 |
| Figura 6.39: | Descabezado del pilote..... | 92 |
| Figura 6.40: | Excavación alrededor del pilote y retiro del material suelto..... | 93 |
| Figura 6.41: | Descabezado de pilotes de una cepa, usando martillo demolidor..... | 93 |
| Figura 6.42: | Descabezado de pilotes en Puente Laja, Región del Maule..... | 94 |
| Figura 7.1: | Problemas más frecuentes en construcción de pilotes..... | 95 |
| Figura 7.2: | Problema durante la construcción de pilotes por filtración de agua.... | 97 |
| Figura 8.1: | Esquema y gráfico de ensayo de carga y descarga v/s asentamiento... | 100 |
| Figura 8.2: | Ensayo de capacidad..... | 101 |
| Figura 8.3: | Ensayo de carga estática vertical a compresión..... | 102 |
| Figura 8.4: | Ensayo PDA..... | 103 |
| Figura 8.5: | Operador realizando ensayo de integridad PIT..... | 107 |
| Figura 8.6: | Operador realizando ensayo de integridad PIT..... | 107 |
| Figura 8.7: | Equipo PIT..... | 108 |
| Figura 8.8: | Esquema de realización del ensayo PIT..... | 108 |
| Figura 8.9: | Armadura con tubos para sondeo sínico (<i>Cross Hole</i>)..... | 109 |

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Los puentes carreteros en Chile han sido muchas veces una solución para la conexión de todo el territorio nacional debido su accidentada geografía. Frente a esta situación, las fundaciones deben ser capaces de transmitir las cargas al suelo.

Una de las soluciones más comunes de fundaciones en puentes, son los pilotes pre-excavados, también llamados pilotes in-situ, clasificada como fundación tipo profunda y que pueden estar ubicadas en cepas y estribos, dependiendo de las exigencias del proyecto y los criterios geotécnicos.

En la presente memoria se detalla la construcción de estos elementos estructurales a través de esquemas, que representan la metodología y maquinaria utilizada en estos procesos.

Además se muestran los distintos tipos de ensayos utilizados para comprobar el estado del pilote después de haber terminado la ejecución de éste, antes de ser conectado al dado de fundación.

1.2.1 Objetivo General.

Identificar y clasificar los métodos constructivos, ensayos de control en terreno y los costos asociados para la realización de pilotes pre-excavados en puentes chilenos, mostrando la experiencia constructiva en la realización de estas fundaciones especiales para este tipo de estructuras viales.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar y clasificar los métodos constructivos de pilotes pre-excavados y la maquinaria utilizada.
- Investigar sobre los ensayos de control en terreno de pilotes pre-excavados.
- Identificar los problemas más usuales y sus respectivas soluciones para casos reales en Chile.
- Hacer una recopilación de los costos asociados a la construcción de pilotes pre-excavados.

CAPÍTULO II

GLOSARIO

A continuación se muestra las referencias conceptuales de esta memoria.

A

| | |
|---------------|---|
| A63-42H: | Acero con resistencia a la tracción de 630 MPa y una tensión máxima de fluencia de 580 MPa y una mínima 420 MPa. |
| AASHTO: | <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> (Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte). |
| Acarreo: | Trasporte de materiales dentro de la obra a diferentes distancias. |
| ACI 318: | <i>American Concrete Institute</i> , referente a diseño en hormigón armado. |
| ACHS: | Asociación Chilena de Seguridad. |
| Aguas abajo: | Curso de agua visto en sentido de la corriente. |
| Aguas arriba: | Curso de agua visto en sentido contrario a la corriente. |
| Air Lift: | Bombeo de aire comprimido con uso de motobomba, para succionar el agua. |
| Asentamiento: | Deformación vertical del suelo debido a la acción de las cargas que trasmite la estructura a la fundación. |
| Asesoría: | Entidad encargada de visar y revisar la gestión de la empresa constructora, que está a cargo de la obra. Esta entidad es contratada por el MOP. |

Autocontrol: Chequeos y registros correspondientes por cada etapa de la obra, realizados por la oficina de calidad de la constructora, de acuerdo al plan de aseguramiento de la calidad (PAC), el cual debe ser aprobado por el Inspector Fiscal.

B

Bentonita: Es una arcilla o material fino de carácter fluido, usado para mezclar con agua, obteniendo una lechada mineral, que es un lodo de estabilización para dar soporte a la pared del suelo de la excavación, también llamado lodos bentoníticos.

Bomba Sumergible: Dispositivo que proporciona fuerza de elevación para hacer fluir el líquido, hasta llevarlo a la superficie y sacarlo de la excavación.

Botadero: Lugar o zona elegida para depositar los desechos sin afectar el medio ambiente.

C

Camisa recuperable: Tubo de acero de 1.0, 1.2 y 1.5 metros de diámetro con un largo de 2.0 metros y un espesor de 2 cm, que sirve como guía, estabilizador y moldaje durante la excavación y hormigonado de un pilote. También llamada funda.

Cepas: Apoyos intermedios de los puentes que reciben las cargas horizontales y verticales. Constituido por dos partes, la elevación y la fundación. .

Cono de Abrams: Es un ensayo para medir la consistencia del hormigón que consiste en un molde de acero con forma de cono tipo embudo, donde se coloca una muestra de hormigón y que luego de ser retirado el molde, se mide la altura del hormigón fresco, confirmando la consistencia o fluidez de la mezcla. También llamado cono de asentamiento.

- Cota de Fondo de Lecho:** Es la cota inferior del levantamiento topográfico del fondo del lecho.
Referencia: Volumen 3, Manual de Carreteras.
- Cota de Fundación:** Es la cota de proyecto o la aprobada por el la Inspección Fiscal y corresponde a la cota de la superficie de contacto donde se apoyan las fundaciones, sean éstas directas ó de tipo profundas.
Referencia: Volumen 3, Manual de Carreteras.
- Cota de Socavación:** Corresponde al nivel de socavación para distintos períodos de crecidas y debe contemplar la socavación general más la local.
Referencia: Volumen 3, Manual de Carreteras.
- Control de Calidad:** Pruebas técnicas e inspecciones, para comprobar la correcta ejecución y resultado de un proceso constructivo, según las especificaciones técnicas y el PAC.
- Curado del Hormigón:** Proceso en el que se controla las condiciones ambientales, como temperatura y humedad, durante el fraguado y endurecimiento del hormigón.

D

- Defensas Fluviales:** Éstas corresponden a los enrocados, gaviones, bajadas de agua en los terraplenes de acceso y elementos de contención de tierra, tales como muros de contención, pilotes contenedores, muros jaulas y deben contemplar obras de seguridad, como barreras de contención y señalización.
- Dosificación:** Proceso de medida de peso, volumen y tamaño del material en estado suelto para ser mezclado en la hormigonera con la medida justa.
- Ductilidad:** Es la capacidad de un elemento de absorber y disipar energía.

Durabilidad: Es la capacidad de un material de resistir la desintegración a través del tiempo por efectos del medio ambiente y/o mecánicos.

E

Emplantillado: Es una capa de hormigón de bajo contenido en cemento, que sirve para nivelar el suelo y proteger el hormigón de contaminación de éste.

Espaciadores: También llamadas “calugas” o “distanciadores”. Son los dispositivos responsables de garantizar el recubrimiento de las armaduras y pueden ser de acero u hormigón, ya que no se pueden dañar o romper debido a la acción del roce provocado entre la camisa y el dispositivo al ser colocada la armadura.

Estribos: Son los apoyos extremos del puente para soportar la superestructura. Están constituidos por la elevación, que corresponde al muro frontal, muro espaldar, alas y mesa de apoyo; y el dado de fundación.

Esviado: De puente esviado, cuyo eje longitudinal del camino no es perpendicular a los apoyos y accesos del puente.

ETE: Especificaciones Técnicas Especiales.

ETG: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción (E.T.G.C).

F

Fatiga: Reducción gradual de la resistencia de un material, debido a las repetidas sollicitaciones de carga.

Fraguado: Proceso gradual de una mezcla de hormigón para alcanzar la resistencia de diseño requerida.

Fundación Directa: Aquella que transmite las cargas de peso propio y sobrecargas a través del dado de fundación directamente al estrato de suelo.

Fundación Profunda: También llamada fundación indirecta, sirve para transmitir las cargas de peso propio y sobrecargas a un estrato de suelo de mejor calidad a través de pilotes o pilas de gran profundidad.
(Puede ser consultado en capítulo 3.1002.402(2), Volumen 3 del Manual de Carreteras 2012).

Fuste: Es el manto del cuerpo longitudinal del pilote, que en base a su diseño trabaja a fricción en contacto con el suelo que lo envuelve.

G

Gálibo: Altura existente entre el fondo de viga de un puente y el fondo del lecho en el caso de cruce de ríos o esteros.

Gaviones: Muro conformado con material pétreo, sujeto con una malla de acero que sirve como defensa fluvial y que está dispuesta en bloques.

Granulometría: Distribución por tamiz de los tamaños que posee el material pétreo.

I

Infraestructura: Conjunto de elementos estructurales constituidos por estribos y cepas, que soportan las sobrecargas y peso propio del puente y las transmiten al suelo de fundación.

Ingeniero Residente: Ingeniero Civil con experiencia obligatoria en infraestructura vial y puentes, cuya permanencia en obra será desde el inicio hasta el término de obra y estará a cargo de la obra por parte de la empresa constructora.

| | |
|-------------------------|--|
| INN: | Instituto Nacional de Normalización. Referente a las NCh. |
| Inspector Fiscal: | Ingeniero Civil a cargo de fiscalizar la correcta ejecución de la obra y el fiel cumplimiento del contrato según las bases, especificaciones técnicas, normas vigentes y planos por parte de la entidad licitante. |
| ICH: | Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. |
| K | |
| Kelly: | Tubo de acero telescópico de varias secciones que es parte de la pilotera y se usa para darle alcance de profundidad y rotación a la hélice cuando se está realizando la excavación. |
| L | |
| LNV: | Laboratorio Nacional de Vialidad. Organismo técnico encargado del control de calidad en la ejecución de las obras viales. |
| Luz Libre de un Puente: | Distancia entre apoyos. |
| N | |
| Napa Artesiana: | Es el agua que sube a la superficie con la sola fuerza de su presión, debido a una perforación o excavación realizada. |
| Napa Freática: | Acuífero más cercano a la superficie del suelo y que se desplaza por gravedad. |
| M | |
| MOP: | Ministerio de Obras Públicas. |
| Morsa: | Entubadora que sirve para sujetar e hincar la camisa a través de la vibración y rotación, mejorando el rendimiento en la construcción de un pilote. |

Motobomba: Dispositivo para mover fluidos como líquidos y gases, incluso lodos.

P

Pilotería: Máquina pesada empleada para la construcción de pilotes, sirve para realizar la perforación en el terreno con el uso de un mástil hidráulico articulado, para ejecutar la excavación del terreno y posterior construcción del pilote. La máquina se desplaza con sistema tipo oruga sobre el terreno escarpado, puede girar en 360° sobre su base y su transporte se realiza en camiones de cama baja. También llamada pilotadora.

Pilotes: Son fundaciones de tipo profunda que transmiten las cargas por punta o fuste al suelo. Son usados cuando la capacidad del suelo superficial no soporta las cargas de la estructura o la fundación está expuesta a socavación de gran magnitud.

Presupuesto Oficial: Estudio detallado que representa el valor efectuado por la institución que realiza las cubicaciones con sus respectivos precios unitarios y precio total previsto para la construcción del puente.

Prospección: Exploración y/o sondaje del suelo con el fin de conocer sus características.

R

Relleno Estructural: Material granular conformado por suelos inorgánicos naturales o manufacturados y que cumplan con la graduación dada por la norma AASHTO 2002 División II artículo 7.6.6.3 y el capítulo 5.206.101 del Volumen 5 del Manual de Carreteras. El material debe ser utilizado para el relleno de espacios excavados y no ocupado por las obras, especialmente sobre dados de fundación en cepas y estribos, realizando los rellenos hasta la cota establecida en los planos. Este material debe ser permeable y tener calidad de material filtrante, quedando limitada la proporción de finos a no más de un 4%. Debe colocarse en capas horizontales uniformes, que no excedan un espesor de 0,2 m antes de la compactación.

S

Seremi Regional: Secretaría Regional Ministerial de Chile, son representantes del Ministerio respectivo en la región.

SIAT: Sección de Investigación de Accidentes del Tránsito. Es una unidad especial de Carabineros de Chile.

Socavación Local: Fenómeno que produce un desequilibrio localizado entre la tasa de sedimento arrastrado y el sedimento depositado por la corriente, provocando una profundización local del lecho en la cepa o en el estribo.

(La socavación puede ser consultada en el capítulo 3.707.4 del volumen 3 del Manual de Carreteras 2012).

SPT: *Standard Penetration Test* (Ensayo de Penetración Estándar). Medida de resistencia del suelo tras ser hincado en el terreno.

T

Tubo Tremie: Tubo de Acero que sirve para conducir el hormigón en forma fluida hasta la cota más baja de excavación del pilote, permitiendo que el agua y el material contaminado suba hasta la superficie.

Tablero: Está constituido por la superficie de rodadura, los pasillos o aceras y las barandas del puente por donde transitan los vehículos.

Trabajabilidad: Facilidad con la que el hormigón se puede colocar, moldear y compactar, para formar parte de un elemento estructural.

Trépano: Es un elemento de perforación que sirve para demoler bolones durante la excavación del pilote.

V

Viga Cabezal: Viga que suele amarrar las columnas o pila – pilote de una cepa o estribo, formando un marco en sentido transversal del puente.

Viga Principal: Viga que soporta parte de la losa y que transmite las cargas de la superestructura a la infraestructura.

CAPÍTULO III

ESTRUCTURACIÓN DE UN PUENTE

El puente es una estructura que forma parte de un camino o carretera, está construido sobre una depresión, río u obstáculo cualquiera, forma parte de un paso obligado y consta fundamentalmente de dos partes:

Superestructura:

Es aquella parte del puente que permite la continuidad del camino con su calzada y bermas, sobre un río u otra vía. Soportando el peso de las cargas móviles.

Fuente: 3.1001.302(2) a, Volumen 3, Manual de Carreteras.

Infraestructura:

Es aquella parte del puente donde se apoya la superestructura y a través de la cual se transmiten las cargas al terreno de fundación.

Fuente: 3.1001.302(2) b, Volumen 3, Manual de Carreteras.

Los puentes en Chile han sido construidos en su mayoría, bajo la supervisión y fiscalización del Departamento de Puentes de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, con la finalidad de ayudar al crecimiento económico, mejorar los servicios y administración del país.

En este capítulo, se realiza un alcance de tipos de puentes, que en sus fundaciones pueden llevar pilotes pre-excavados, en alguna de sus cepas y estribos, dependiendo de la capacidad de soporte del suelo y los resultados del estudio geotécnico. Con este objetivo, en primer lugar se muestran los elementos principales de un puente según el capítulo 3.1000 del Volumen 3 del Manual de Carreteras 2012.

3.1 Elementos principales de un puente carretero.

- Infraestructura: Estribos, cepas, dados de fundación y pilotes.
- Superestructura: Pavimento, losas, barandas, vigas, placas de apoyo y anclajes.
- Accesos: Terraplenes de acceso y geometría vial.
- Obras Complementarias: Obras de defensa y seguridad vial.

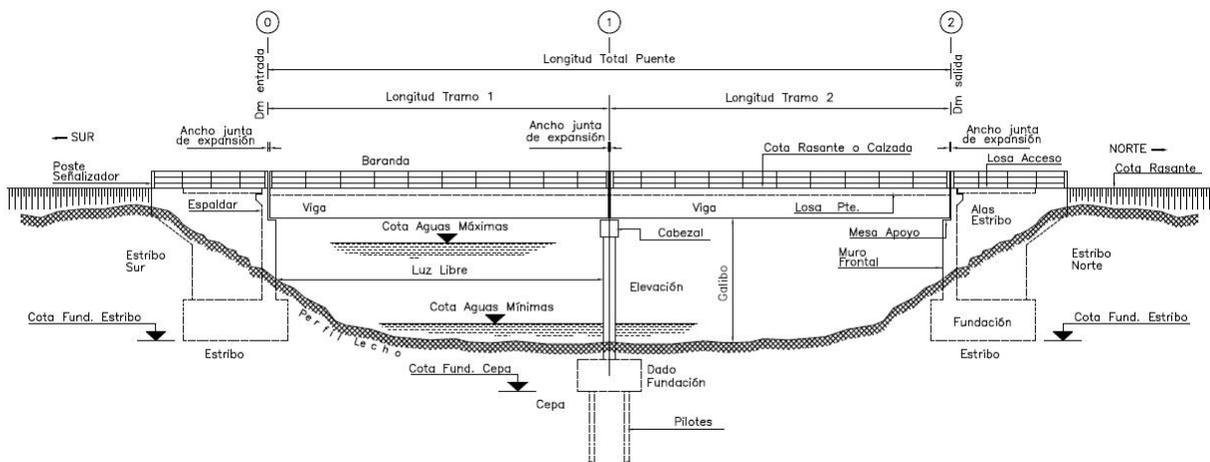


Figura 3.1: Elementos principales de un puente.

Fuente: 3.1001.302(2) A, Volumen 3, Manual de Carreteras.

3.2 Clasificación de los puentes por longitud.

| | |
|------------------|------------------------------------|
| Puente Menores | $10 \text{ m} < L < 40 \text{ m}$ |
| Puentes Medianos | $40 \text{ m} < L < 200 \text{ m}$ |
| Puentes Mayores | $L > 200 \text{ m}$ |

Fuente: 3.1001.301(1), Volumen 3, Manual de Carreteras.

3.2 Clasificación de los puentes por calzada.

La clasificación por calzada dependerá de acuerdo al número de pistas o vías de tránsito para el que fue diseñado el puente. Se pueden clasificar como:

- Puente de simple vía.
- Puente de doble vía.
- Puente de triple vía.
- Puente de más de 3 vías.

3.4 Tipos de puentes.

- Puentes Simplemente Apoyados.
- Puentes de Viga Continua.
- Puentes en Arco con Tablero Superior.
- Puentes en Arco con Tablero Inferior.
- Puentes en Arco con Tablero Intermedio.
- Puentes Colgantes.
- Puentes Atirantados.

3.5 Perfiles de un puente e interpretación de planos.

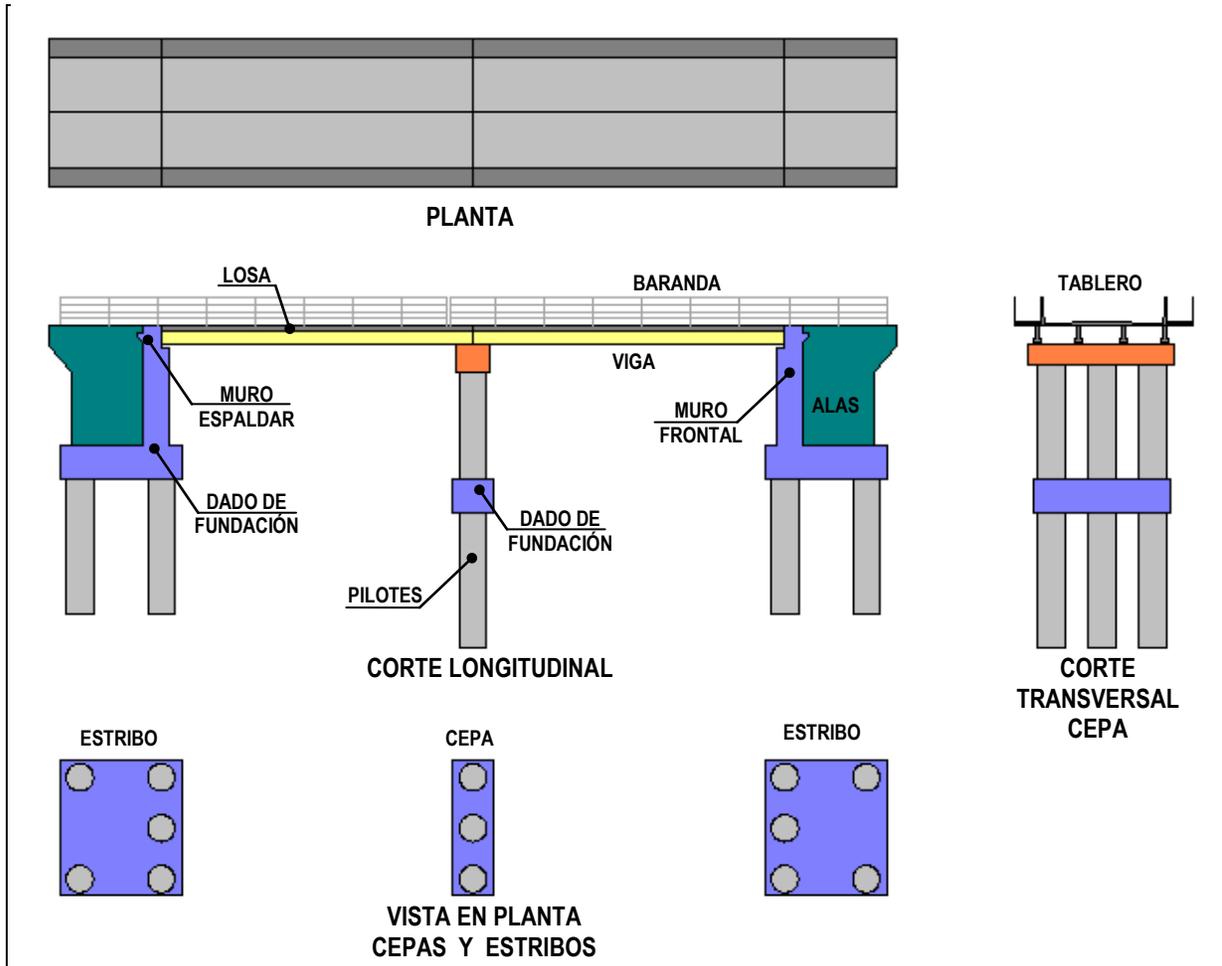


Figura 3.2: Perfiles de un puente.

Fuente: Elaboración propia.

La interpretación de planos y especificaciones será de acuerdo al numeral 5.002.103 del Volumen 5 y el capítulo Planos de obra tipo, 4.600, Puentes y Pasarelas del Volumen 4 del Manual de Carreteras.

3.6 Requerimientos de Estudio e Ingeniería Básica.

Para la construcción de un puente es necesario contar con los estudios respectivos de Ingeniería Básica, según lo indicado en el numeral 3.1000.2 (Ingeniería básica – Aspectos Geodésicos y Topográficos de un Puente, volumen 3 del Manual de Carreteras).

Correspondiente a los estudios que se realizan en terreno, tienen un bajo costo en comparación al total del proyecto y permiten conocer las características del lugar que darán los datos de entrada para un diseño óptimo de la estructura que será proyectada.

En el estudio se debe identificar un sistema de coordenadas basado en las cartas del Instituto Geográfico Militar, con el cual se realiza el levantamiento y trabajo topográfico para el estudio de la estructura, con el que se puede realizar el replanteo con posterioridad y ejecutar la construcción de la obra.

Además se debe estudiar la topografía aguas arriba y aguas abajo del puente, de acuerdo al levantamiento realizado cada 0,5 metros en toda la longitud de la estructura, teniendo en cuenta el ancho medio del cauce entre riveras, si es que ésta existiera, en caso de que así fuese, se debe identificar el cauce o tipo de flujo que puede ser permanente, impermanente, superficial o subterráneo, según el numeral 3.1002.302, Volumen 3 del Manual de Carreteras, ya que de alguna u otra forma puede afectar en la construcción del pilote.

3.7 Aspectos geotécnicos.

Para la construcción de un puente es necesario conocer las características del suelo a través de un número suficiente de sondajes, de esta forma se puede conocer la estratigrafía y determinar la resistencia disponible del suelo, que deber ser capaz de soportar las cargas transferidas por la fundación.

El tipo de fundación es definido por las cargas del puente, las condiciones hidráulicas, topográficas y por la mecánica de suelos.

3.7.1 Ensayo SPT (*Standard Penetration Test*).

El sondaje más utilizado en Chile es el SPT (*Standard Penetration Test*), este ensayo consiste en hincar un tubo de acero con una masa normada de 63,5 kg a través de golpes que se dejan caer desde una altura de 76 cm.

El objetivo de este ensayo es lograr obtener una muestra de suelo alojada en un tubo bipartido, utilizando una cuchara, en la que se atornilla un segmento en la parte superior, que posee un canastillo, el cual restringe la caída de la muestra cuando es retirada del tubo del encamisado durante el sondaje y por la parte inferior se atornilla otro segmento, que posee un orificio externo con una bolita que restringe la caída de la muestra debido a la presión interna que ejerce ésta y que cierra el orificio.

Al realizar el ensayo SPT, se debe inyectar agua dentro de la prospección y a la misma cota que la napa, permitiendo equilibrar la presión de la napa subterránea, teniendo en cuenta que la presión interior ejercida sobre la muestra pueda romperla.

Este ensayo permite obtener muestras en suelos arenosos y gravosos que debe ser llevada al Laboratorio Nacional de Vialidad ó laboratorio competente inmediatamente para que no se adhiera la muestra al tubo. En el caso de realizar el ensayo en un suelo duro, se coloca una corona diamantada en la parte inferior del tubo que permite la rotación de la corona y cortar el suelo a medida que se va perforando.

El ensayo SPT se debe realizar teniendo un registro de la cantidad de golpes en tramos de 15 cm, N1, N2 y N3.

N1: esta muestra se desprecia, porque ésta se puede ver alterada por la cantidad de agua inyectada durante el sondaje.

$N2 + N3 = NSPT$: es el número de golpes usados en el sondaje que permite identificar los distintos estratos del suelo y sus propiedades.

Además se debe indicar en el plano, donde fueron realizados los sondajes con sus cotas respectivas indicadas en la ficha con el tipo de suelo y sus características.

Como referencia si el índice de golpes es mayor a 100, entonces el suelo clasifica como bueno para fundar.

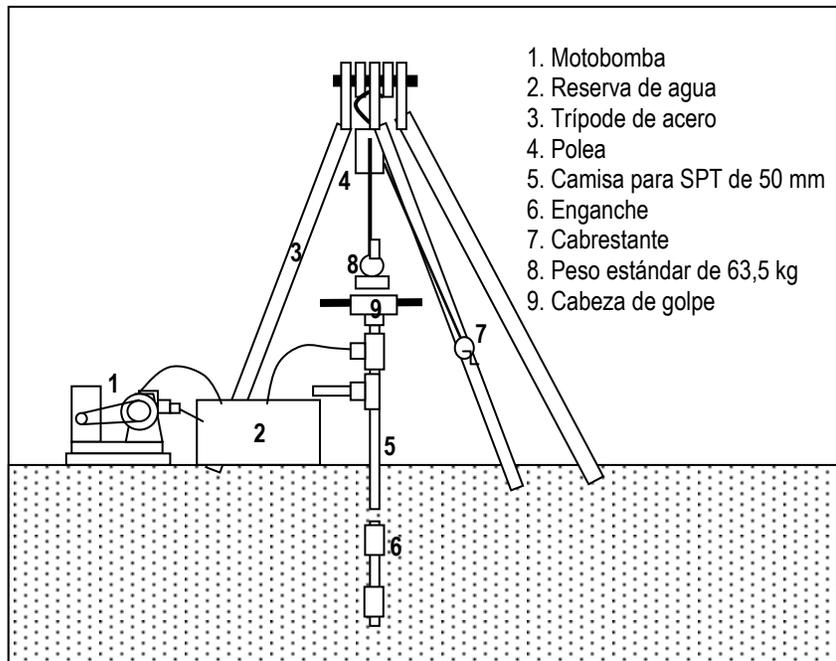


Figura 3.3: Esquema del ensayo SPT.

Fuente: Elaboración propia, basado en Catálogo de Fundaciones, Fernando de Cesaro.

El número de prospecciones dependerá de las condiciones del terreno y la estructuración del puente, realizándose en estribos y cepas del puente, varios metros por debajo de la cota del fondo, las que deben ser supervisadas por un especialista geotécnico. El objetivo de realizar varias prospecciones es conocer la estratigrafía del suelo en todo el terreno.

Tabla 3.1: Prospecciones recomendables en puentes.

| Longitud del Puente (L) (m) | Números de Prospecciones Recomendables |
|---|---|
| $L \leq 10$ | 1 |
| $10 < L \leq 30$ | 2 |
| $30 < L < 60$ | |
| 1 Tramo | 2 |
| 2 Tramos | 3 |
| $60 < L \leq 200$ | |
| 2 Tramos | 3 |
| 3 Tramos | 3 |
| 4 Tramos | 3 |
| 5 Tramos | 4 |
| $200 < L \leq 400$ | |
| 5 Tramos | 4 |
| 6 Tramos | 4 |
| 7 Tramos | 5 |
| 8 Tramos | 5 |
| 9 Tramos | 6 |
| $400 < L \leq 600$ | |
| 9 Tramos | 6 |
| 10 Tramos | 6 |
| 11 Tramos | 7 |
| 12 Tramos | 7 |
| 13 Tramos | 8 |
| * Dos Prospecciones: si se requieren 2 o más sondajes, se hace uno en cada estribo. | |

Fuente: Tabla 3.1002.403.A, Manual de Carreteras.

En pilotes, la exploración debe extenderse por debajo del sello de fundación, según la Sección 3.1002.404(2), Fundaciones Profundas, Volumen 3, Manual de Carreteras.

3.8 Clasificación del suelo.

Los suelos deberán ser clasificados según la Tabla 3.1004.308.B. (tabla 3.2), Volumen 3, Manual de Carreteras 2012.

Tabla 3.2: Definición de los tipos de suelos de fundación, según el Manual de Carreteras 2012.

| Tipo de Suelo | Descripción |
|---------------|---|
| I | <p>Roca: Material natural, con velocidad de propagación de onda de corte vs in-situ igual o mayor que 800 m/s, o bien resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas (sin figuras) igual o mayor que 10 Mpa y RQD igual o mayor que 50%.</p> <p>Si el espesor de la roca es inferior a 20 m, el suelo se clasificará como del tipo del suelo subyacente a la roca.</p> |
| II | <p>Suelo con velocidad de propagación de onda de corte vs in-situ igual o mayor que 400 m/s en los 10 m superiores, y creciente con la profundidad; o bien,</p> <p>Grava densa, con peso unitario seco γ_d igual o mayor que 20 kN/m³ o índice de densidad ID(DR) mayor que 95% del valor Proctor Modificado, o bien:</p> <p>Arena densa, con ID(DR) mayor que 75%, o índice de Penetración Estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado S_u igual o mayor que 0.10 MPa (resistencia a la compresión simple q_u igual o mayor que 0,10 Mpa) en probetas sin fisuras.</p> <p>En todos los casos, las condiciones indicadas deberán cumplirse independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser de 20 m.</p> <p>Si el espesor sobre la roca es menor que 20 m, el suelo se clasificará como tipo I.</p> <p>Si el espesor del suelo tipo II sobre el suelo tipo III o IV es inferior a 20 m, el suelo se clasificará como del tipo del suelo subyacente, esto es tipo III o tipo IV, según corresponda.</p> |
| III | <p>Arena permanentemente no saturada, con ID(DR) entre 55 y 75%, o N mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa); o bien,</p> <p>Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>Suelo cohesivo con S_u comprendido entre 0,025 y 0,10 MPa (q_u entre 0,05 y 0,20MPa) independientemente del nivel freático; o bien,</p> <p>Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre el suelo correspondiente al tipo II es menor que 10m, el suelo se clasificará com tipo II. Si el espesor del suelo III sobre suelo IV es inferior a 25m, se clasificará como tipo IV.</p> |
| IV | <p>Suelo cohesivo saturado con S_u igual o menor que 0,025 MPa (q_u igual o menor que 0,050 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre el suelo correspondiente a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10 m, el suelo se clasificará como tipo III.</p> |

Fuente: Tabla 3.1004.308.B, Volumen 3, Manual de Carreteras.

Como los suelos son dispares, siempre será necesario el trabajo y la opinión de un especialista, quien determinará con parámetros del suelo, las capacidades de soporte de éste y el tipo de fundación recomendada.

Tabla 3.3: Clasificación de Suelos Unificada (USCS).

| Símbolo del grupo | Descripción | Adaptabilidad como material de construcción |
|--------------------------|--|---|
| GW | Grava bien graduada | Excelente |
| GP | Grava mal graduada | Excelente a buena |
| GM | Grava limosa | Buena |
| GC | Grava arcillosa | Buena |
| SW | Arena bien graduada | Excelente |
| SP | Arena mal graduada | Buena |
| SM | Arena limosa | Regular |
| SC | Arena arcillosa | Buena |
| ML | Limo inorgánico de poca plasticidad | Regular |
| CL | Arcilla inorgánica de poca plasticidad | Buena a regular |
| OL | Limo orgánico de poca plasticidad | Regular |
| MH | Limo inorgánico de mucha plasticidad | Mala |
| CH | Arcilla inorgánica de mucha plasticidad | Mala |
| OH | Arcilla orgánica de mucha plasticidad | Mala |
| PT | Terreno turboso, cubierta retenedora de humedad y suelos con alto contenido orgánico | No conviene |
| CLAVE: | G - Grava S - Arena M - Limo C - Arcilla O - Orgánico | W - Bien graduado P - Mal graduado L - Límite de líquido bajo H - Límite de líquido alto PT - Terreno turboso |

Fuente: Wacker Corporation.

También existe la clasificación de suelos de la AASHTO, que es de carácter general al igual que la tabla 3.3.

Tabla 3.4: Clasificación de suelo, AASHTO.

| | Grupos | Descripción del material |
|--|--------|--|
| Suelos granulares (Menos del 35% pasa el tamiz N°200) | A1 | Mezcla bien graduada de grava, arena y finos de poca o ninguna plasticidad. Se incluye además a los suelos gruesos sin finos. Se distinguen aquí dos subgrupos, A1-a y A1-b, el primero con predominio de grava o partículas gruesas y el segundo con predominio de arenas gruesas, con o sin finos en ambos casos. |
| | A2 | Incluye a todos los materiales granulares mal graduados, que no quedan clasificados en A1 ni en A3. Corresponden a gravas y arenas gruesas con mayor contenido de finos (limo y arcilla) que los suelos A1 y A3. Hay cuatro subgrupos A2-4, A2-5, A2-6 y A2-7, cuya fracción bajo la malla N°40 (0,425 mm) tiene las características de A4, A5, A6 o A7, respectivamente. |
| | A3 | Arenas finas y uniformes, sin cantidades importantes de limo o arcilla, tipo arenas de playas y arenas de dunas. |
| Suelos finos (Más del 35% pasa el tamiz N°200) | A4 | Suelo limoso de moderada o ninguna plasticidad. En presencia de agua pierde gran parte de su estabilidad y es erosionable. |
| | A5 | Suelo similar al A4, con la excepción de tener un carácter micáceo y límite líquido muy alto. Es altamente elástico. En presencia de agua pierde su estabilidad y es muy erosionable. |
| | A6 | Arcilla plástica que puede contener ciertas cantidades de grava y arena. Tiene una resistencia alta en estado seco, que disminuye significativamente el absorber agua. |
| | A7 | Material similar al A6, excepto por su alto límite líquido de lo que lo hace elástico y sujeto a altos cambios volumétricos. Se incluyen dos subgrupos: A7-5; con moderado índice de plasticidad con relación al límite líquido. Pueden ser elásticos y expansivos. A7-6; con alto índice de plasticidad en relación al límite líquido y que están sujetos a grandes movimientos de contracción y expansión. |

* Highway Research Board.

Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.

Tabla 3.5: Capacidad de soporte del suelo (rango tensión admisible).

| Clasificación del Suelo | Capacidad de Soporte admisible (kgf/cm ²) | |
|-------------------------|---|--------|
| | Mínima | Máxima |
| Suelo aluvial, lodo | 0,5 | 1 |
| Arcillas | 1 | 4 |
| Arena confinada | 1 | 4 |
| Grava, ripio | 2 | 4 |
| Arena cementada y grava | 5 | 10 |
| Roca | 5 | - |

Fuente: A Bearing Capacity, AASHTO. Pontibus, Manuel Carracedo, 1994.

3.9 Aspectos de diseño.

En Chile los puentes son diseñados de acuerdo a la Norma AASHTO 2002, las normas del INN y el Manual de Carreteras, con una vida útil estimada en 50 años (3.1004.101, Volumen 3, Manual de Carreteras) y deben tener una muy baja probabilidad de falla o daños frente a las sollicitaciones sísmicas, manteniendo su condición de servicio.

Estas normas indican y justifican los criterios de diseño en el Volumen 3, Capítulo 3.1000 Puentes y Estructuras Afines del Manual de Carreteras 2012.

3.10 Construcción de puentes.

Para la construcción de puentes, se debe tener presente según el numeral 9.703.803 del Volumen 9 del Manual de Carreteras 2012 y considerando el caso de que el puente involucre el atraveso sobre un río o estero.

- Evitar la alteración de los cauces de agua existentes en el sector.
- No alterar las características hidrográficas del lugar.
- Se deberán considerar los factores de accesibilidad y conectividad.
- Los cursos de agua no podrán ser obstruidos en su totalidad durante las obras, permitiendo siempre el libre escurrimiento.
- Defensas fluviales, como: espigones, enrocados, gaviones o muros longitudinales deberán ser aprobados por el Inspector Fiscal.
- Una vez finalizadas las obras, se deberá restituir el cauce natural, salvo que el proyecto de ingeniería contemple una rectificación de éste.
- Los puentes provisorios deberán ser removidos completamente por el contratista, a fin de restaurar las condiciones naturales del cauce y terrenos circundantes.
- Las obras de construcción de puentes serán autorizadas por la Inspección Fiscal, previa presentación de los permisos e Informe de Manejo Ambiental correspondiente.
- Analizar los requisitos para manejo de corte y terraplén.
- Proteger y prevenir el daño a la vegetación nativa de la zona.

CAPITULO IV

DESCRIPCIÓN DE LOS PILOTES PRE-EXCAVADOS (IN-SITU)

Las fundaciones en estribos y cepas de un puente, se pueden clasificar como directas y profundas, las directas son las que el dado de fundación está en contacto directo con el sello de fundación, mientras que las fundaciones profundas, el dado de fundación funciona como amarre de un grupo de pilotes. En este caso la base del pilote estaría en contacto con la cota más baja de fundación, llamada cota de fundación de pilote (C.F.P).

Los pilotes, son fundaciones tipo profundas y dependerá de los aspectos geotécnicos y la configuración del puente desarrollada por el calculista, éstos se pueden clasificar en dos tipos:

- **Pilotes Hincados.**
 - a) Perfiles de Acero doble T.
 - b) Perfiles de Acero tubulares.
 - c) Pre-tensandos.

- **Pilotes Pre-excavados (In-situ).**
 - a) Pre-excavados entubados con recuperación de camisa.
 - b) Pre-excavados entubados con camisa incorporada.
 - c) Pre-excavados con sustentación por bentonita.

Los pilotes pre-excavados, también llamados pilotes in-situ, son una solución clásica de fundación tipo profunda de hormigón armado en puentes carreteros. Estos elementos estructurales, son relativamente largos en comparación a su diámetro que puede ser de 1,0; 1,2 y 1,5 metros. Generalmente la longitud del pilote es entre 15 y 20 metros, aunque hay casos en que se ocupan 30 metros y hasta 60 metros como es el caso del nuevo Puente Chacabuco que cruza el río Biobío en la ciudad de Concepción.

La calidad de los materiales que lo componen en la mayoría de los casos es de hormigón H30, con armadura espiral de 12 mm de diámetro y barras de acero longitudinales de 28 ó 32 mm de calidad A63 – 42H.

Estos elementos, son utilizados para transmitir las cargas de la fundación a través de los estratos del suelo con baja capacidad de soporte a estratos de suelo con una mejor capacidad de soporte, propiedad con la cual el pilote es capaz de absorber los esfuerzos verticales, horizontales y momentos flectores a los que se ve sometido. También se emplean para evitar que el puente pierda estabilidad en sus fundaciones, frente a una eventual socavación localizada de gran magnitud en el dado de fundación.

Los pilotes hincados y pre-excavados corresponden a fundaciones de tipo profundas. Los pilotes pre-excavados son los más usados en Chile, tienen una gran capacidad portante y transmiten las cargas de la fundación al suelo trabajando por punta en la mayoría de los casos a diferencia de los pilotes hincados que en la mayoría de los casos trabaja por fuste.

4.1 Clasificación por fuste y punta en pilotes.

- a) **Pilotes por fuste:** En suelos donde hay baja capacidad de soporte y la profundidad del pilote no logra alcanzar un suelo más resistente, el pilote trabajará por fuste, transmitiendo la carga al suelo adyacente a través del roce provocado por el fuste y el suelo.

- b) **Pilotes por punta:** En suelos donde a cierta profundidad se encuentre un suelo más resistente, el pilote trabajará por punta, transmitiendo la carga al suelo adyacente a través de la punta.

El objetivo de clasificar el pilote por su tipo de trabajo, es conocer el grado de afección que se puede producir, como por ejemplo, asientos diferenciales.

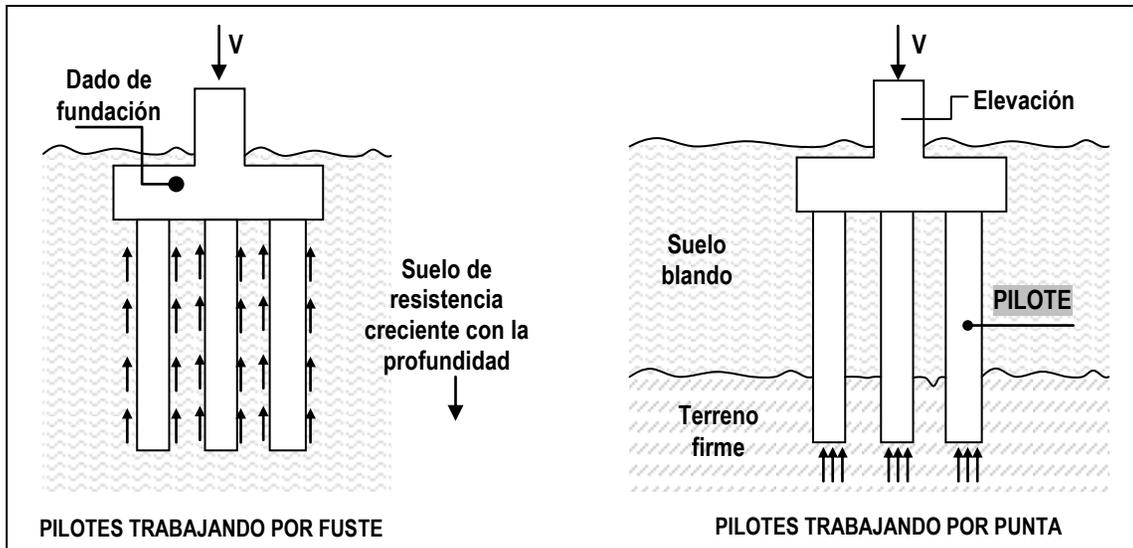


Figura 4.1: Esquema de fundación profunda.

Fuente: Elaboración propia, basado en Guía de Cimentaciones en Obras Carreteras.

En el primer caso el pilote soporta las cargas por la fricción provocada entre el fuste y el suelo, mientras que en el segundo caso el pilote se apoya sobre un suelo que resiste mayoritariamente las cargas.

En los dos casos, los pilotes trabajan en grupo anclados al dado de fundación, aumentando la resistencia frente a las sollicitaciones sísmicas, debido al dado de amarre y la adherencia al suelo.

Los pilotes trabajarán por fuste en suelos clasificados como blandos, tales como: arcilla y limos. Estos suelos se clasifican por el tamaño nominal de las partículas.

- Arcillas: $< 0,002$ mm
- Limos: 0,002 a 0,06 mm

Los pilotes trabajarán por punta cuando, la base del pilote se encuentre empotrada en un suelo competente, como por ejemplo arenas no saturadas.

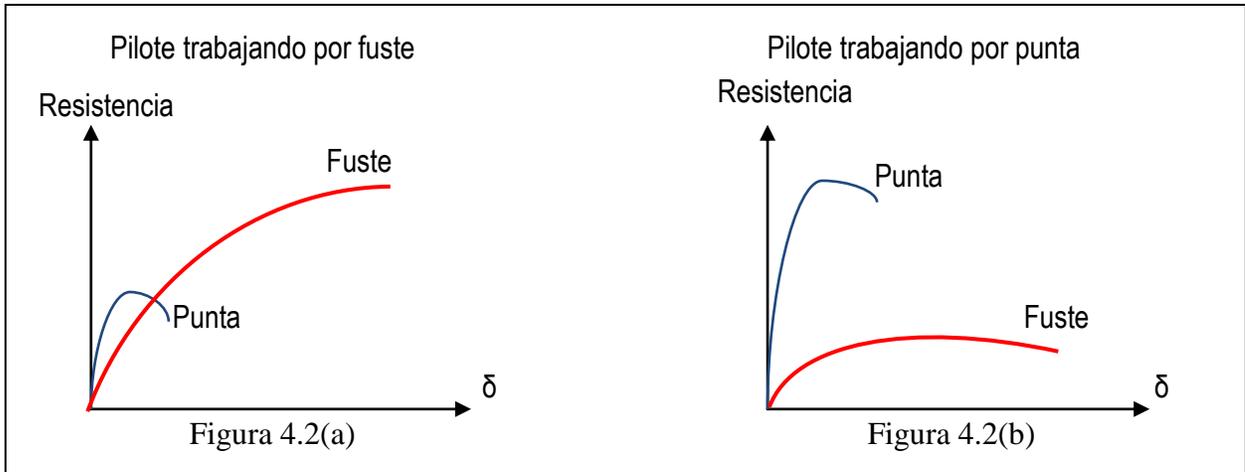


Figura 4.2: Resistencia v/s desplazamiento del pilote.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en la figura 4.2(a) que la resistencia del pilote cuando trabaja por fuste tiene mayor resistencia que la producida en la punta, mientras que en la figura 4.2(b) cuando el pilote trabaja por punta, la resistencia en el fuste es baja.

En pilotes que trabajan por punta, en suelos con presencia de arcilla, quedan expuestos significativamente a asentamientos diferenciales con los otros pilotes del grupo, debido a la carga ejercida por el diámetro equivalente del grupo de pilotes sobre el suelo arcilloso, reduciendo la capacidad de la fundación y su rigidez, sobre todo, si es que está bajo el pie del pilote. Luego si el pilote tuviera una longitud relativamente mayor, éste comenzaría a trabajar por fuste, disminuyendo las posibles causas de reducción de capacidad.

4.2 Especificaciones Técnicas de los Materiales.

Los materiales utilizados en pilotes pre-excavados deben cumplir con las Especificaciones Técnicas Generales de Construcción conforme al Capítulo 5.509.101 Pilotes Pre-excavados (in-situ) del Volumen 5 del Manual de Carreteras 2012. Además debe cumplir con los requerimientos entregados por el M.O.P, de acuerdo a la Memoria de Cálculo del Puente y el Estudio Geotécnico. Se deben conocer los parámetros y características del suelo, como también las condiciones donde se desarrollará la obra.

Los pilotes deben estar armados con espiral o estribos redondos y con barras longitudinales en toda su longitud, la que debe estar diseñada para resistir los esfuerzos provocados por las solicitaciones de carga. Además éstas deben estar rigidizadas, ya que la grúa debe izar la armadura, enganchándola con teclas de levante en unas asas de acero dulce y colocarla dentro de la excavación realizada por pilotera, en donde la armadura quede posicionada en forma concéntrica al diámetro de excavación, para luego vaciar el hormigón en consistencia fluida, con el uso de un tubo tremie.

4.2.1 Acero de refuerzo.

1. Las barras de acero serán con resaltes y de acuerdo a lo indicado en el proyecto, acorde a la Sección 5.503, Acero para Armaduras, Alambre y Acero de Alta Resistencia del Volumen 5 del Manual de Carreteras. Generalmente de calidad A63-42H.
2. Deben cumplir con los requerimientos de las normas del INN:
NCh 204: Barras laminas en caliente para hormigón armado.
NCh 218: Mallas de alta resistencia para el hormigón armado– Especificaciones.
NCh 219: Construcción – Mallas de acero de alta resistencia – Condiciones de uso en el hormigón armado.
3. La armadura en espiral debe ser transportada y entregada en rollos en la obra.

4. La armadura longitudinal debe ser transportada y entregada en barras rectas, evitando dobladuras bruscas que puedan dañarla.
5. El doblado se debe efectuar siempre en frío, nunca en caliente y deberá realizarse en un sitio específico de la instalación de faena, conocido como maestranza. Además no deberán estirarse y volver a doblarse sin la aprobación por escrito del Inspector Fiscal.
6. La armadura no debe ser soldada, ya que se debilita la resistencia del acero en el punto donde fue soldado. La soldadura se hará sólo en algún punto estrictamente necesario y aprobado por escrito por el Inspección Fiscal.
7. La forma será de tipo canasto, con armadura longitudinal y armadura espiral, sujetos con amarres de alambre negro recocido N°18 y cumplir con la NCh 227, Alambres de acero para usos generales - Especificaciones.
8. La longitud de empalme de la armadura será de $60 d_b$ de la barra de armadura longitudinal.
9. Se podrá usar una barra libre adicional dispuesta como atiesador, que quedará embebida en el hormigón para darle estabilidad al canasto.
10. La armadura debe quedar en posición correcta ajustándose a los recubrimientos de hormigón especificado, 75 mm y 100 mm, generalmente.
11. El espaciamiento entre las espiras, debe permitir el paso del tamaño máximo del agregado grueso a utilizar.
12. La cuantía mínima de acero de armadura longitudinal, en un pilote debe ser del 1%.

4.2.2 Hormigón.

1. El hormigón será acorde a lo indicado en el proyecto, regido y especificado por la Sección 5.501, Hormigones, Volumen 5 del Manual de Carreteras 2012.
2. El transporte debe ser en camiones mixer, desde una planta de hormigón, que no esté a más de 2 horas de viaje entre la planta y la instalación de faena y con un tiempo de estadía del camión mixer de 8 minutos por m³.
3. El hormigón debe ser colocado con la armadura de acero dentro de la excavación, para realizar el vaciado mediante el uso de tubo tremie, con una altura de caída máxima de 2 metros, según lo dispuesto en el numeral 5.501.307.A, Volumen 5 del Manual de Carreteras 2012.
4. La consistencia del hormigón debe ser fluida con un cono de asentamiento de 18 cm aproximadamente.
5. La temperatura de colocación del hormigón no debe sobrepasar los 30° C.
6. El hormigón será generalmente H30.
7. Se debe asegurar el correcto curado del hormigón, por parte de los profesionales en obra.
8. En casos de excavaciones con napa, la colocación del hormigón debe desplazar el material contaminado y el agua contenida en la excavación hacia la superficie. El desplazamiento se dará debido a que el hormigón es más denso que el agua. Como referencia para ver el desplazamiento, se recomienda poner una pelota plástica, la que flotará junto con el material contaminado que será desplazado.

4.3 Geometría y diseño del pilote.

Los pilotes pre-excavados deben ser de sección circular y su cabeza debe ir conectada al dado de fundación.

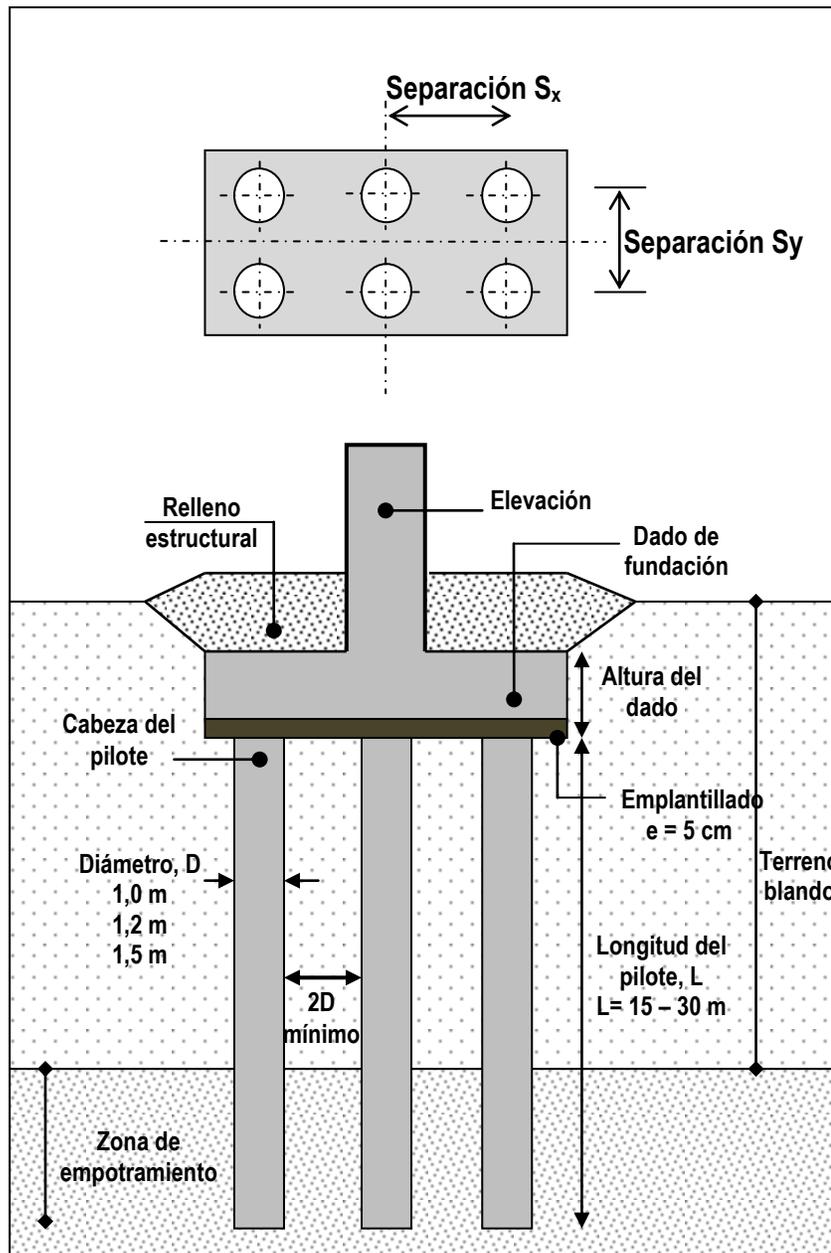


Figura 4.3: Esquema de una cepa con un grupo de pilotes.

Fuente: Elaboración propia, basado en la Guía de Cimentaciones en Obras Carreteras.

El diseño correcto, debe favorecer el llenado adecuado del pilote sin restricciones que impongan el flujo del hormigón. Este hormigón es generalmente H30, de un cono de Abrams de 18 cm de asentamiento, lo que indica que es un hormigón de consistencia fluida.

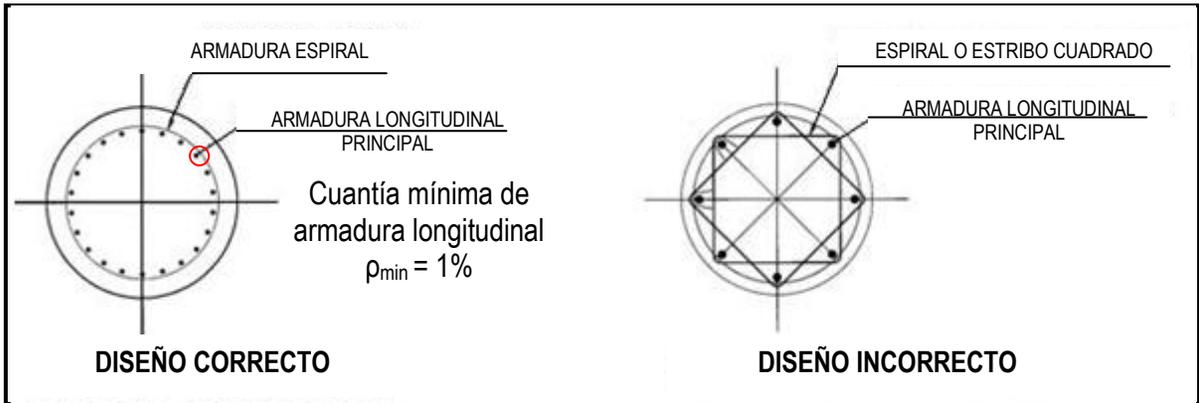


Figura 4.4: Diseño correcto e incorrecto del pilote, perfil transversal.

Fuente: Sebastián Boldrini, Pilotes Terratest.

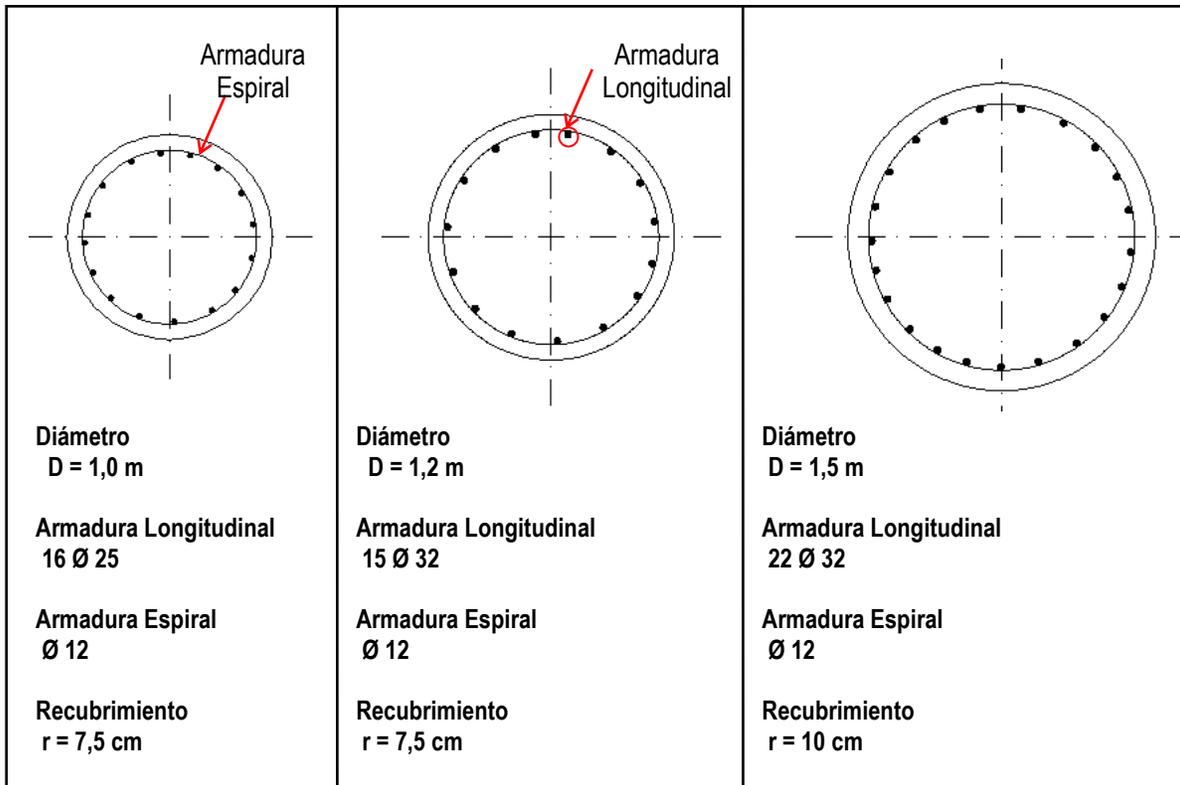


Figura 4.5: Corte transversal de pilotes pre-excavados con armaduras típicas.

Fuente: Elaboración propia.

La armadura espiral cumple con la función de:

- Confinar el hormigón del núcleo del pilote para mejorar su capacidad resistente.
- Mantener en su sitio la armadura longitudinal durante su construcción.
- Controlar el pandeo transversal de las barras de acero cuando están sometidas a compresión.
- Colaborar en la resistencia a las fuerzas cortantes.

La armadura en espiral evita que la fuerza ejercida sobre el pilote destruya el hormigón, debido al confinamiento que se produce en el hormigón, mejorando su ductilidad y evitando el pandeo de las barras longitudinales.

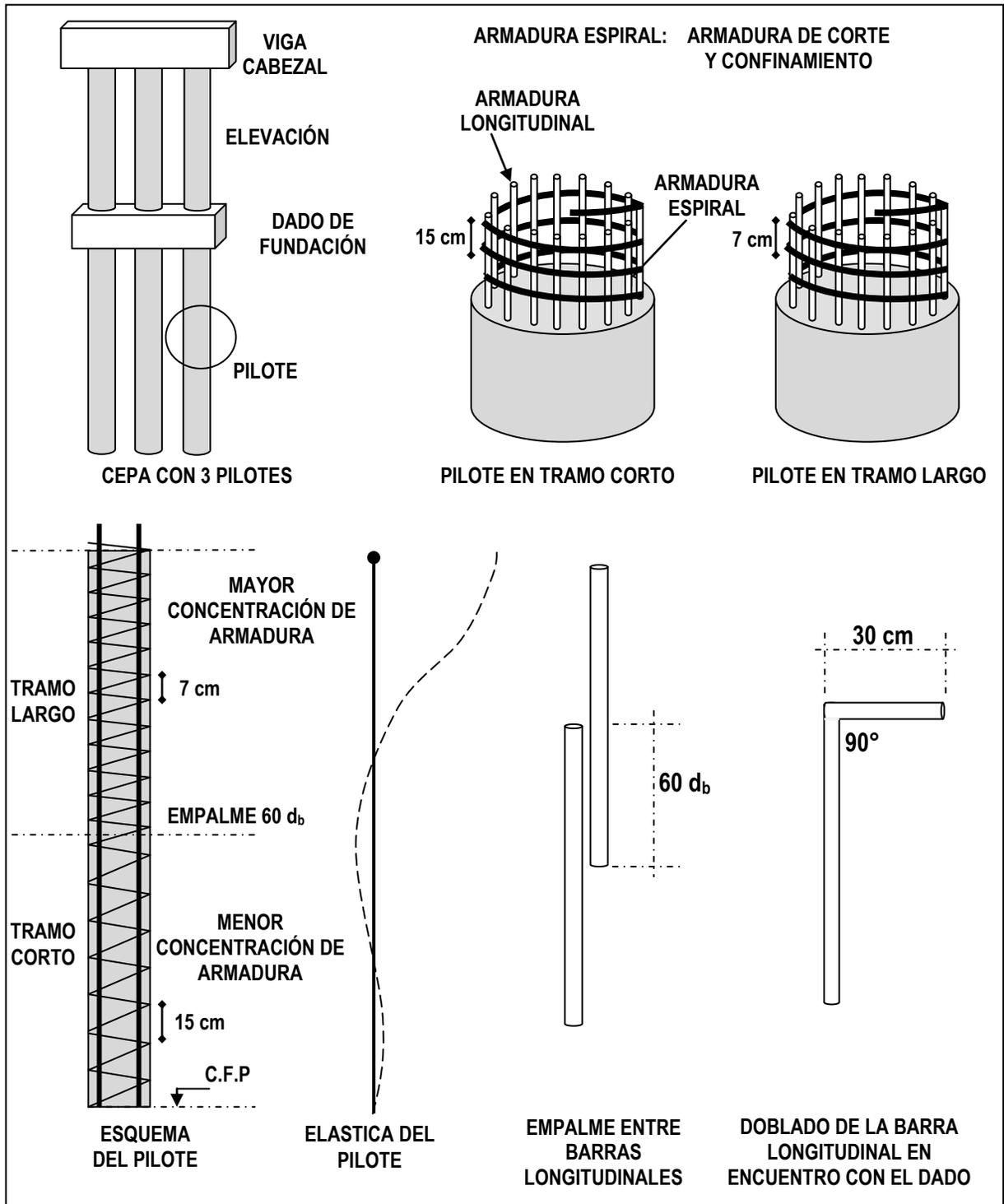


Figura 4.6: Esquema de un pilote pre-excavado.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Distribución típica de pilotes.

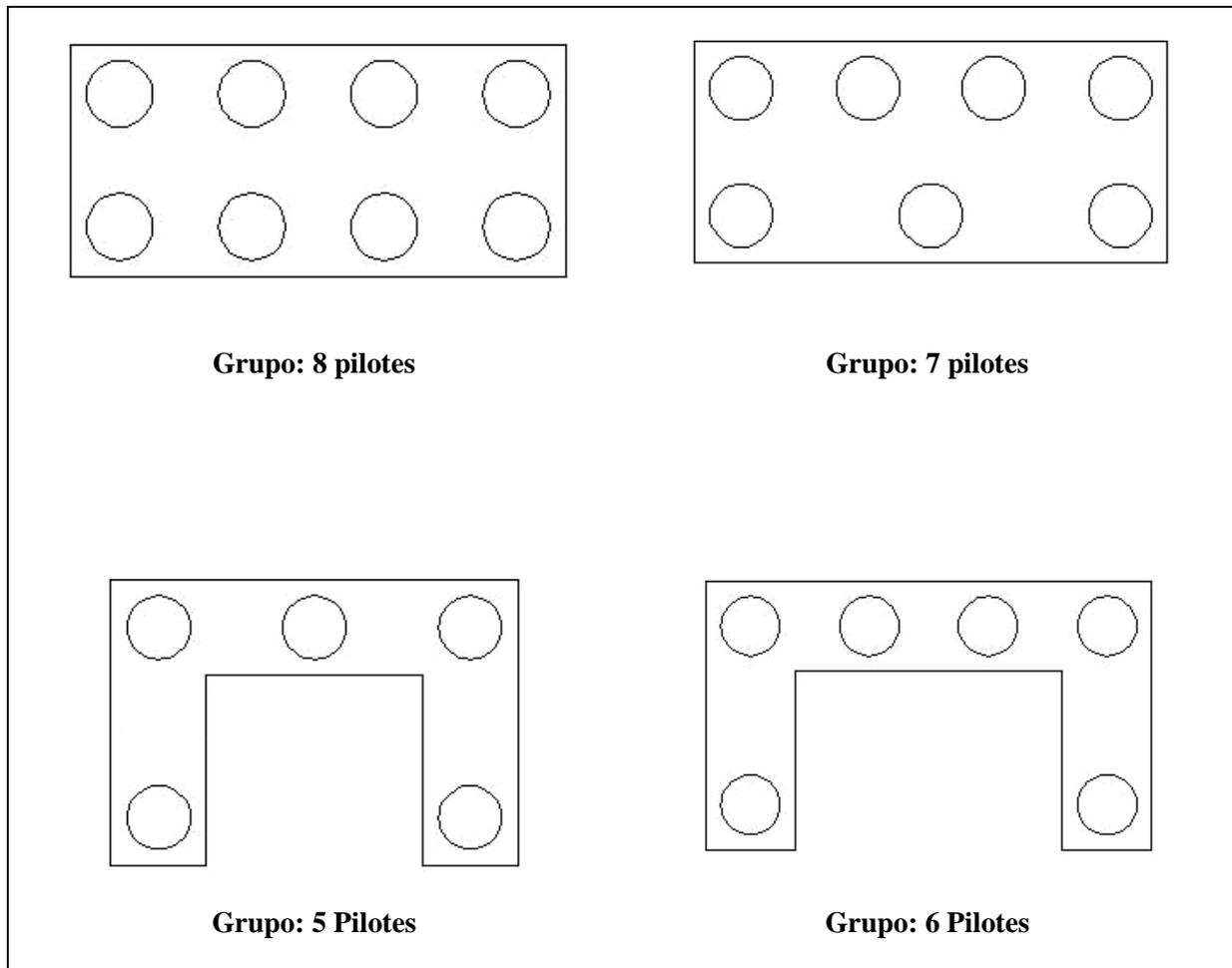
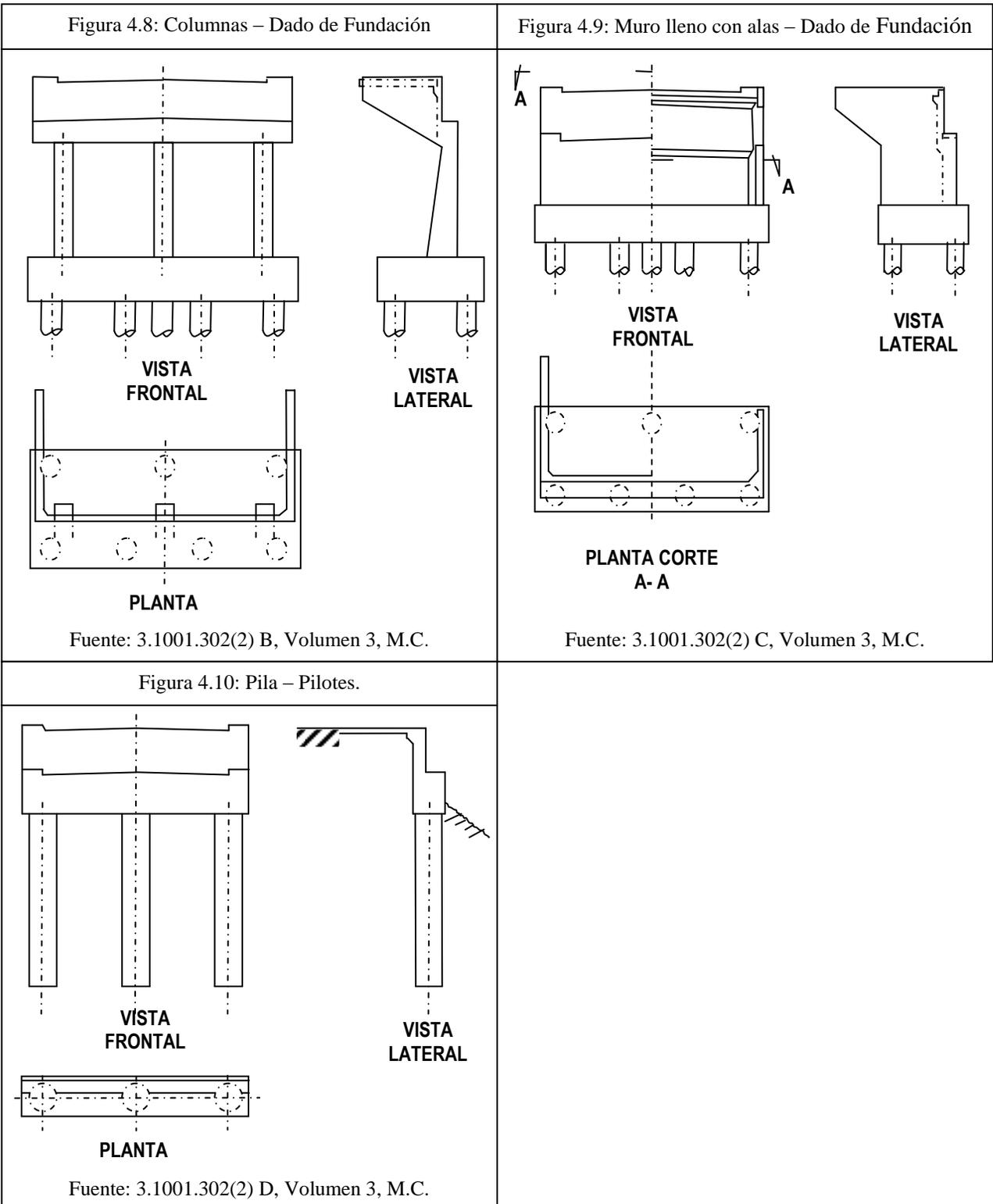


Figura 4.7: Distribución típica de pilotes. (Dado de Fundación, Vista en Planta).

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Estribos típicos con pilotes.



4.7 Cepas típicas con pilotes.

| | |
|--|---|
| <p>Figura 4.11: Columnas – Dado de Fundación – Pilotes.</p> <p>VISTA FRONTAL</p> <p>CORTE O - O</p> <p>PLANTA</p> <p>Fuente: 3.1001.302(2) E, Volumen 3, M.C.</p> | <p>Figura 4.12: Muro lleno - Fundación – Pilotes.</p> <p>VISTA FRONTAL</p> <p>CORTE B-B</p> <p>PLANTA</p> <p>Fuente: 3.1001.302(2) F, Volumen 3, M.C.</p> |
| <p>Figura 4.13: Muro con Celda – Fundación – Pilotes.</p> <p>VISTA FRONTAL</p> <p>VISTA LATERAL</p> <p>PLANTA</p> <p>CORTE A-A</p> <p>Fuente: 3.1001.302(2) H, Volumen 3, M.C.</p> | <p>Figura 4.14: Pila – Pilotes.</p> <p>VISTA FRONTAL</p> <p>VISTA LATERAL</p> <p>PLANTA</p> <p>Fuente: 3.1001.302(2) H, Volumen 3, M.C.</p> |

Tabla 4.1: Ejemplos de puentes que tienen pilotes pre-excavados.

| Puente | Pilote | | Calidad del hormigón | Cono de Abrams [cm] | Calidad del acero | Ubicación del Puente |
|----------------|--------------|-----------|----------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|
| | Diámetro [m] | Largo [m] | | | | |
| Santa Julia | 1,0 | 15 | H30 | 18 | A63-42H | Quintero, Valparaíso |
| Maipo | 1,5 | 15 | H30 | 18 | A63-42H | Santiago, RM |
| Ranchillo | 1,2 | 20 | H30 | 18 | A63-42H | María Pinto, Melipilla, RM |
| Caballo Blanco | 1,0 | 11 | H30 | 18 | A63-42H | Linares, Maule |
| Llacolén | 1,5 | 15 | H30 | 18 | A63-42H | Concepción, Biobío |
| Río Oscuro | 1,2 | 25 | H30 | 18 | A63-42H | Puerto Montt, Los Lagos |

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la tabla 4.1 que los pilotes, tienen un diámetro entre 1,0 – 1,5 metros, todos con hormigón H30 y calidad de acero A63-42H.

CAPITULO V

MAQUINARIA UTILIZADA

En la construcción de pilotes se deben realizar excavaciones y movimientos de tierra, si es que el proyecto lo requiere. Para realizar los trabajos de excavación, es necesario el empleo de excavadoras oruga que serán transportadas a la obra en camiones de cama baja al igual que la pilotera y deberán contar con un sitio designado para estacionarse, sin impedir el tránsito de otras máquinas dentro de la instalación de faena cuando las máquinas no estén operativas.

Los catálogos de maquinaria pesada, traen especificadas las dimensiones y rendimientos, por eso se debe contar con un plano de la instalación de faena, con la ubicación del material de acopio, botadero, *containers*, maestranza, bodegas y estacionamientos, para especificar la zona de libre tránsito por donde circulen las máquinas hasta el lugar de la excavación, con el fin de ejecutar la obra.

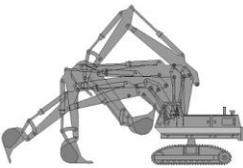
| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Pilotera | Excavadora | Camión tolva | Camión Mixer |
| Bauer Maschinen | cad-projects.com.ar | 123rf.com | ICH |

Figura 5.1: Maquinaria pesada más relevante en la construcción de pilotes.

Fuente: Elaboración propia.

5.1 Máquinas piloterías.

Las máquinas piloterías más usadas por las empresas, son las de la marca Bauer y Liebherr, algunas de éstas son:

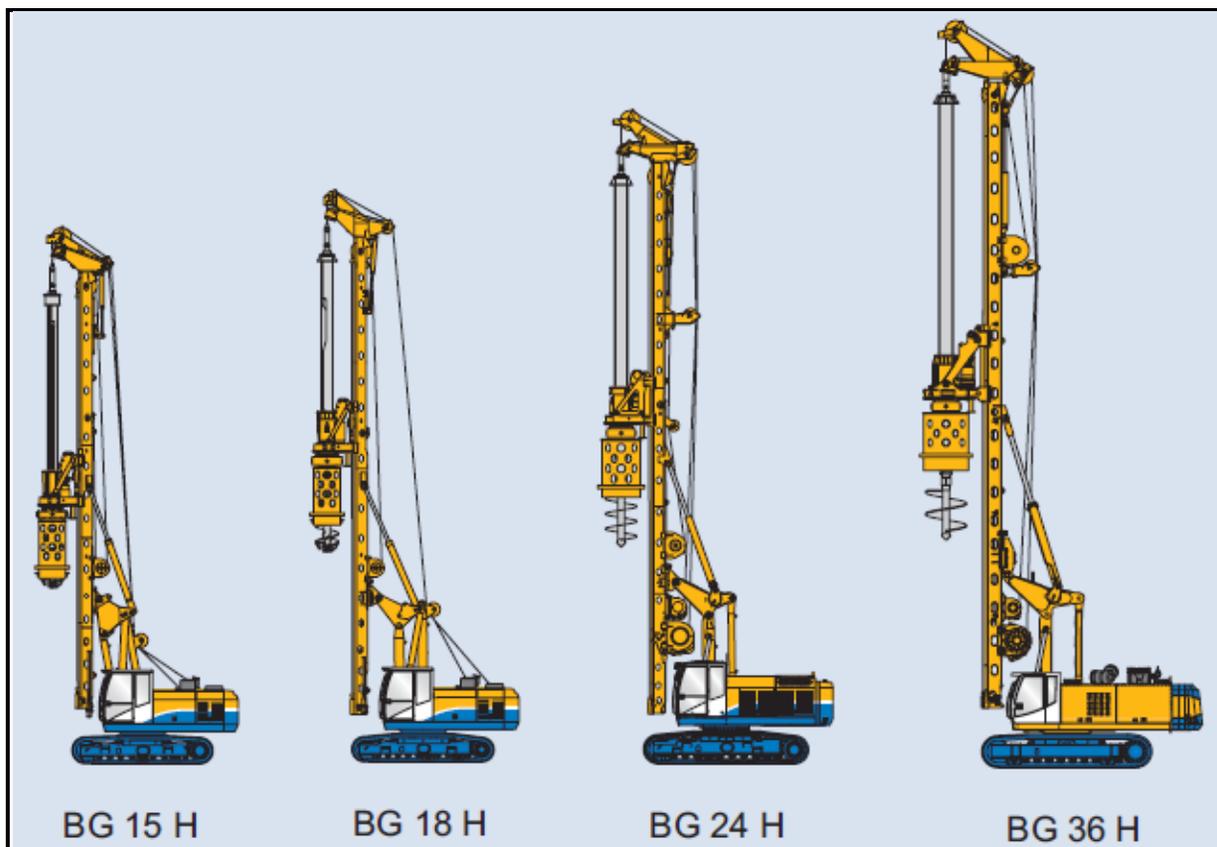


Figura 5.2: Piloterías Bauer más usadas.

Fuente: Bauer Maschinen.

Tabla 5.1: Notación de la pilotería por marca.

| Bauer | Torque máximo | Peso | Liebherr | Torque máximo | Peso |
|---------|---------------|---------|----------|---------------|---------|
| BG 15 H | 151 kN m | 50 ton | LB 16 | 161 kN m | 52 ton |
| BG 18 H | 177 kN m | 54 ton | | | |
| BG 24 H | 237 kN m | 83 ton | LB 24 | 240 kN m | 76 ton |
| BG 36 H | 367 kN m | 127 ton | LB 36 | 360 kN m | 115 ton |

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Máquina pilotera Bauer BG-24 H.

Es la pilotera más usada en Chile, funciona con un sistema hidráulico, tiene una altura de 22 metros aproximadamente y un peso operativo de 82,5 ton, ideal para:

- Perforación rotativa y entubación de camisa.
- Perforación sin camisa, estabilizada mediante lodos bentoníticos.

La pilotera tiene un estanque diesel de 740 litros, con un nivel de ruido en la cabina de 80 dB (A) y un nivel de ruido de la maquina 113 dB (A), su transporte se realiza en un camión de cama baja.

Algunas de las empresas que poseen esta pilotera son:

- Pilotes Terratest.
- Pilotes y Entibaciones.
- Mandry.
- CSP Postensados y Geotecnia.

5.2.1 Componentes y dimensiones en [mm] de la máquina pilotera Bauer BG-24 H.

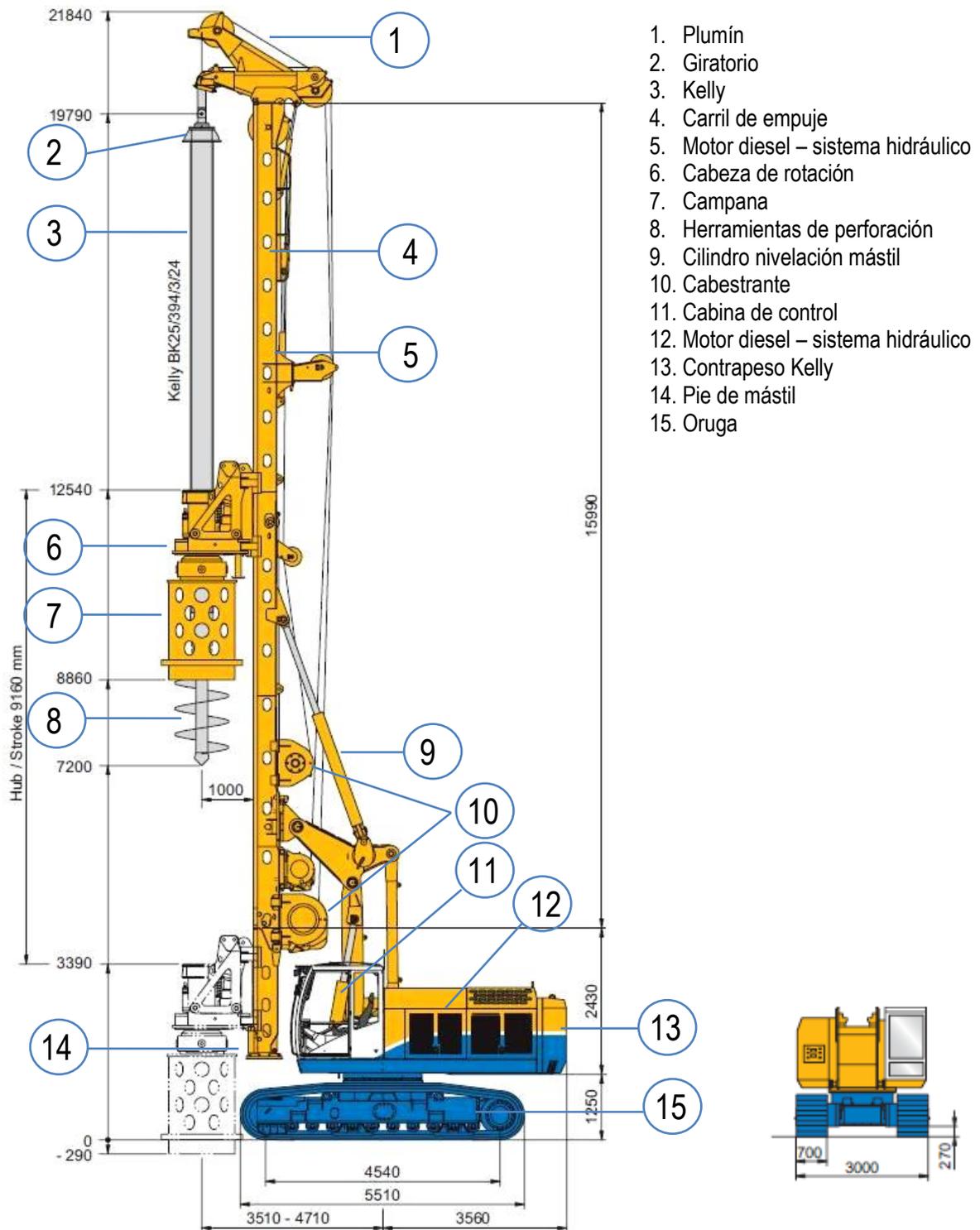


Figura 5.3: Componentes y Dimensiones en [mm] de la pilotera BG-24 H.

Fuente: Bauer Maschinen.

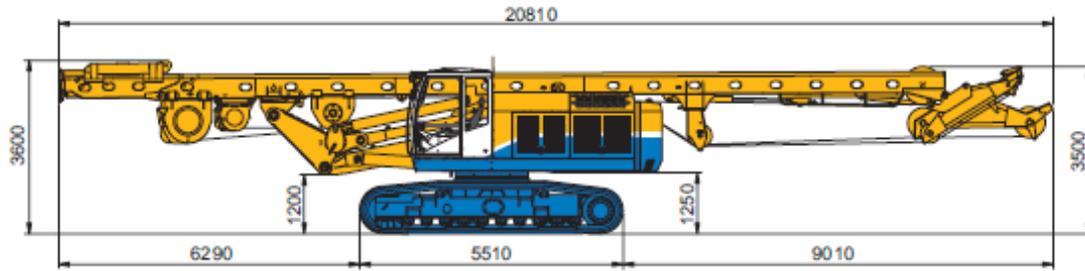


Figura 5.4: Dimensiones en [mm] de la pilotera BG-24 H con mástil extendido.

Fuente: Bauer Maschinen.

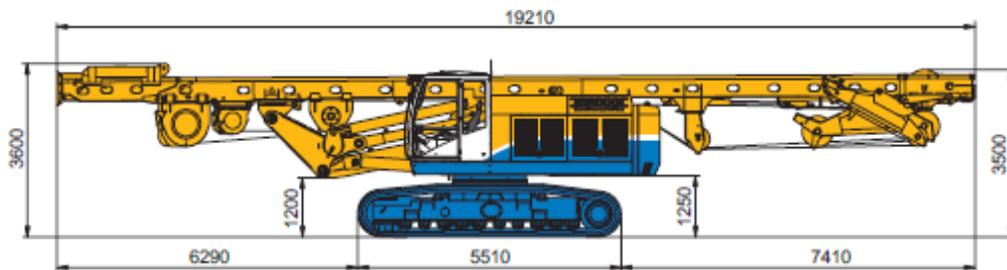


Figura 5.5: Dimensiones en [mm] de la pilotera BG-24 H con mástil sin extender.

Fuente: Bauer Maschinen.

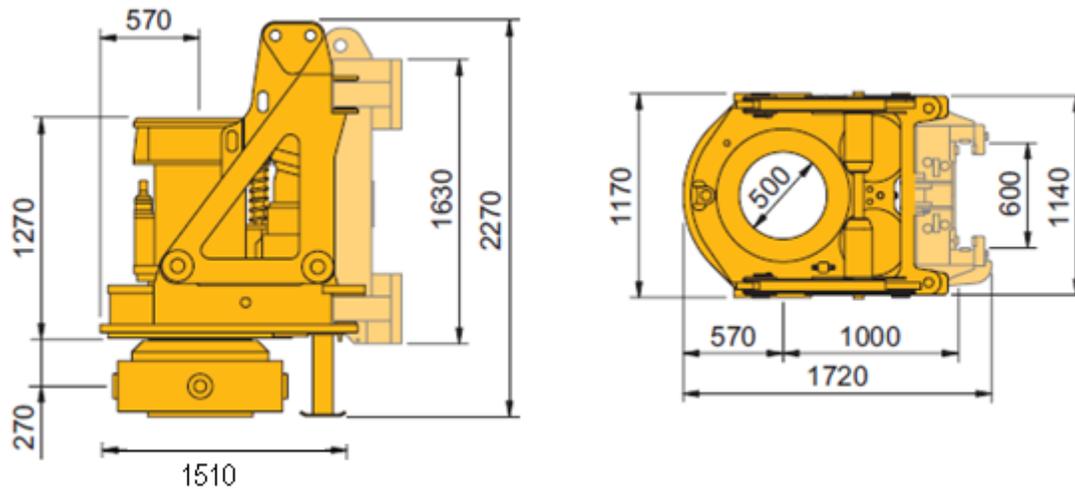


Figura 5.6: Dimensiones en [mm] de la cabeza de rotación (guía para el Kelly).

Fuente: Bauer Maschinen.

5.2.2 Especificaciones técnicas de la máquina pilotera Bauer BG-24 H.

Tabla 5.2: Especificaciones técnicas de la máquina pilotera Bauer BG – 24 H.

| | |
|--|--------------|
| Altura Total | 21.870 mm |
| Peso de Operación aprox con kelly | 82.500 kg |
| Empuje de Rotación | |
| Torque (nominal) a 300 bar | 237 kN/m |
| Velocidad de Rotación (máx) | 32 RPM |
| Fuerza de Hincado Efectivo | 330 kN |
| Fuerza de Levante Efectivo | 330 kN |
| Fuerza de Hincado medido en la Camisa | 270 kN |
| Fuerza de Levante medido en la Camisa | 280 kN |
| Golpe (<i>kelly system</i>) | 9.155 mm |
| Golpe desplazado máximo | 15.425 mm |
| Velocidad Baja | 6,5 m/min |
| Velocidad Alta | 6,5 m/min |
| Velocidad Rápida Baja | 25 m/min |
| Velocidad Rápida Alta | 25 m/min |
| Tecele Principal | |
| Clasificación del Tecele | M6 / L3 / T5 |
| Guía de Tracción (1er Estrato) Efectivo | 200 kN |
| Guía de Tracción (1er Estrato) Nominal | 250 kN |
| Diámetro del Cable | 28 mm |
| Longitud del Cable | 75 m |
| Velocidad máxima | 85 m/min |
| Tecele Auxiliar | |
| Clasificación del Tecele | M6 / L3 / T5 |
| Guía de Tracción (1er Estrato) Efectivo | 80 kN |
| Guía de Tracción (1er Estrato) Nominal | 100 kN |
| Diámetro del Cable | 20 mm |
| Longitud del Cable | 50 mm |
| Velocidad máxima | 55 m/min |
| Inclinación del Mástil | |
| Hacia Atrás | 15 ° |
| Hacia Adelante | 5 ° |
| Hacia al Lado | 8 ° |

Fuente: Bauer Maschinen.

5.2.3 Profundidad de la perforación de la pilotera Bauer BG-24 H y uso del kelly.

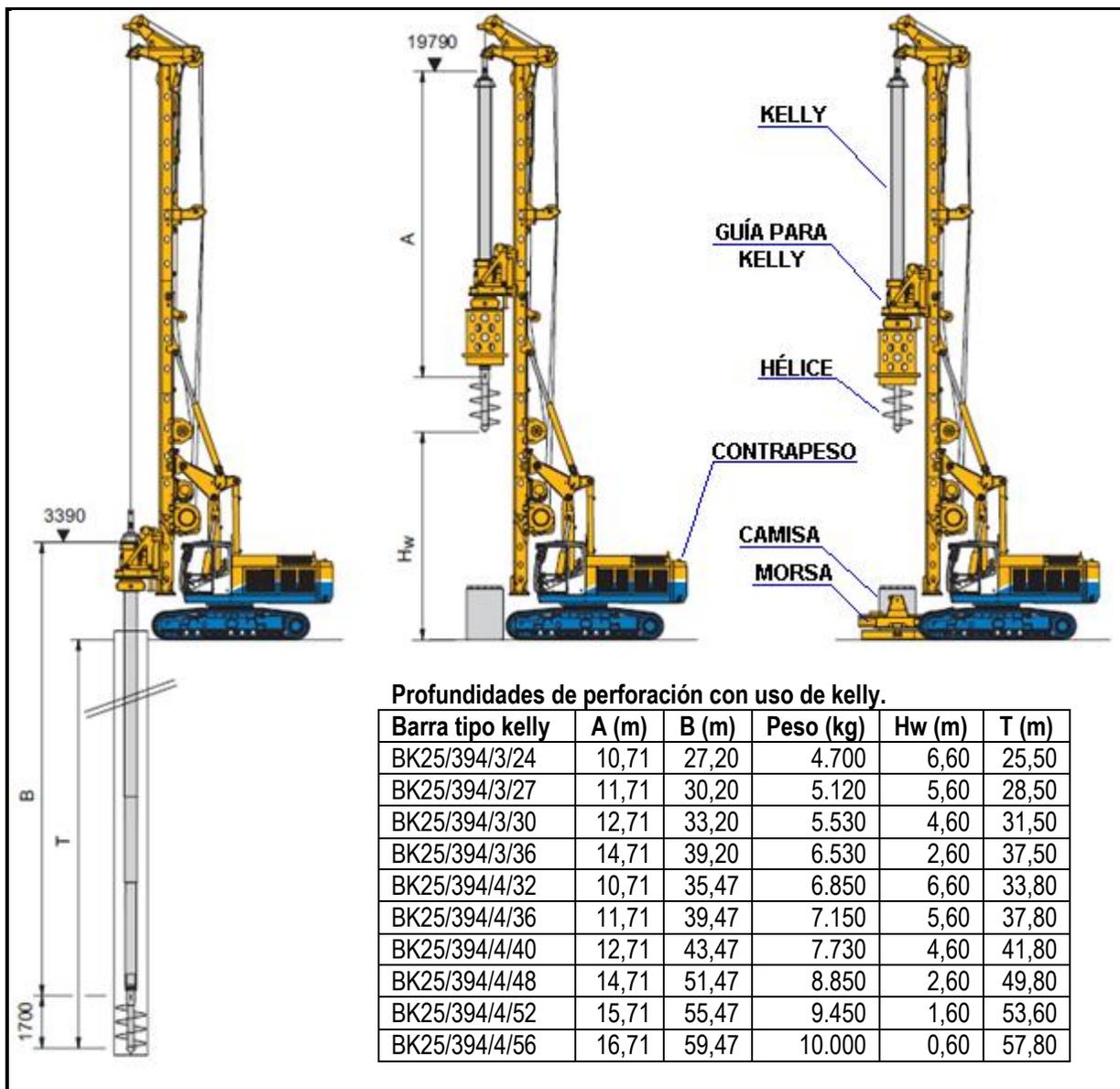


Figura 5.7: Profundidad de perforación de la pilotera BG-24 H.

Fuente: Bauer Maschinen.

En la figura 5.7 se puede observar que la pilotera puede alcanzar una profundidad de hasta 58 metros, por lo que con esta pilotera, es suficiente para realizar trabajos de pilotaje en todos los puentes carreteros de Chile, ya que los pilotes in-situ tienen una longitud de 15, 20 ó 25 metros generalmente.

5.3 Elementos de perforación de la pilotera.

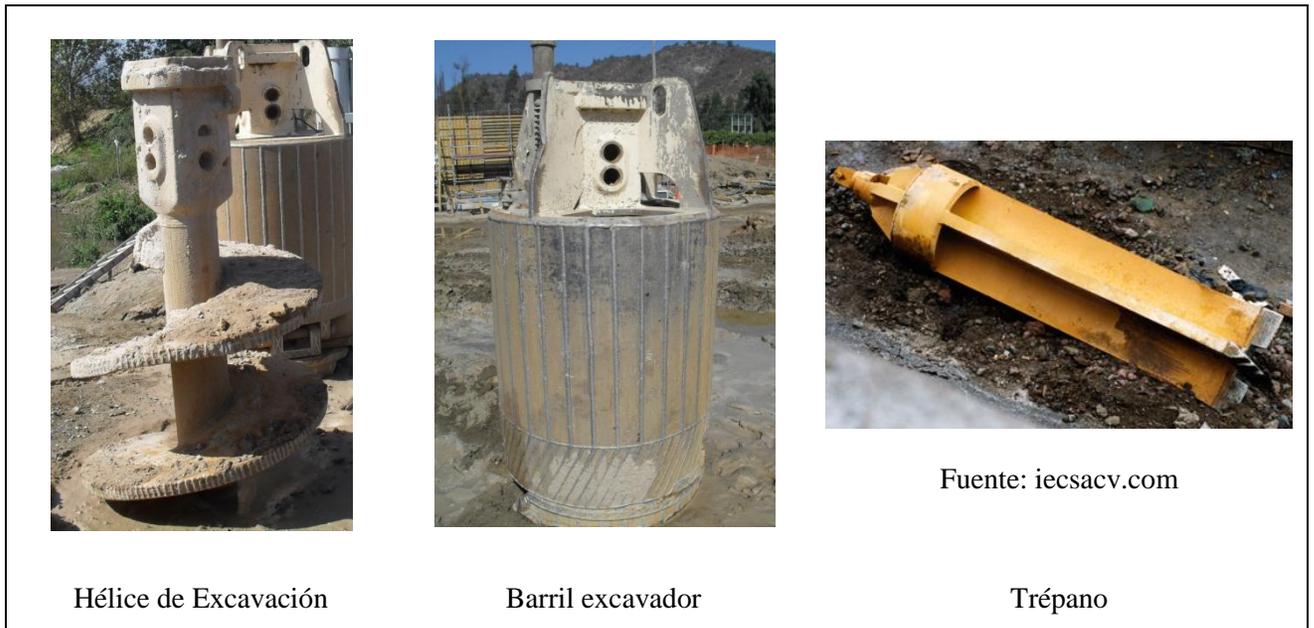


Figura 5.8: Elementos de perforación.

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Elementos auxiliares de la pilotera.



Figura 5.9: Elementos auxiliares de la pilotera.

5.5 Equipos auxiliares utilizados.

Los equipos utilizados para la construcción de pilotes son las siguientes, correspondiente al valor de arriendo diario en un mes de trabajo.

Tabla 5.3: Arriendo de equipos y maquinaria pesada.

| Arriendo de Equipo | Valor diario \$ |
|---|------------------------|
| Andamios, Moldajes y Encofrados | 792 |
| Escala Telescópica de Aluminio, 28 peldaños, 8,8 m, 23 kg | 3.192 |
| Compresor de Aire, 100 litros, 220 V, 2,2 HP | 5.192 |
| Martillo de Demolición o Cango, 31 kg, 2000 W | 9.592 |
| Esmeril Angular 9", 2,4 kg, 1800 W | 2.152 |
| Disco de Corte de Hormigón, 14" | 10.392 |
| Cortadora de Hormigón JCB D=30cm, 10 kg | 4.720 |
| Generador Eléctrico Bencinero 4,1 kW 220 V | 8.392 |
| Unidad Motriz Bencinera Lemaco 5,5 HP | 3.032 |
| Bomba Sumergible 2" JCB 700 l/min 1HP | 5.520 |
| Motobomba 3x3" 1000 litros/min 7,5 m alcance, 31kg 5,5 HP | 7.192 |
| Pala | 490 |
| Carretilla Compensada, Capacidad 90 litros | 1.592 |
| Reflector 500 W | 2.392 |
| Alargador Eléctrico, 30 m 10A | 1.192 |
| | |
| Maquinaria Pesada | |
| Excavadora Oruga Hitachi EX200 140 HP, Pala de 1 m ³ | 11.500 |

Fuente: Elaboración propia, basado en el Catálogo de arriendo de herramientas y maquinarias, SODIMAC Constructor.

CAPITULO VI

MÉTODOS CONSTRUCTIVO DE PILOTES PRE-EXCAVADOS PARA PUENTES

Para la construcción de pilotes, es necesario conocer el informe geotécnico y los planos estructurales. Con estos antecedentes se debe generar y presentar un plan de trabajo que respete las condiciones medio ambientales y que cumpla con el Plan de Aseguramiento de Calidad (PAC).

El método empleado será definido de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio geotécnico y conformes a la Ingeniería Básica del Proyecto, como también el Diseño de Infraestructura del puente, con los cuales se obtienen las dimensiones de la fundación.

El procedimiento constructivo de la fundación será realizado según la Sección 5.509.302, Pilotes Pre-excavados (in-situ) del Volumen 5 del Manual de Carreteras y constará con las siguientes etapas fundamentalmente.

1. Trazado del pilote.
2. Posicionamiento de la pilotera.
3. Perforación e hinca de la Camisa.
4. Colocación de la malla de acero.
5. Hormigonado con tubo tremie.
6. Retiro de la camisa de forma simultánea con el vaciado del hormigonado.
7. Descabezado del Pilote.

La construcción se debe realizar en un terreno nivelado, en condiciones óptimas para que la máquina pilotera pueda posicionarse, excavar, izar la malla sujeta en varios puntos, colocarla, hormigonar, recuperar ó perder la camisa, dependiendo de cuál sea el caso, con el fin de cumplir con alguno de los métodos establecidos a continuación.

Las soluciones de construcción de pilotes más comunes son:

1. Perforación por rotación en seco con uso de hélice.
2. Perforación por rotación con lodos bentoníticos con uso de barril excavador.
3. Perforación por rotación con camisa recuperable con uso de hélice.
4. Perforación por rotación con camisa perdida con uso de hélice.
5. Perforación con cuchara bivalva y camisa recuperable.

La realización del método será con el uso de una máquina pilotera, transportada hasta la obra en un camión de cama baja. Generalmente la máquina pilotera más usada es el modelo Bauer BG – 24 H, que realiza perforaciones por rotación con camisa recuperable y perdida, con el apoyo de una entubadora (morsa) para la hinca y extracción de la camisa.

Los elementos de perforación más usados en estos métodos son:

- Hélice o barrena.
- Barril excavador o cubo de perforación.
- Trépano en el caso de presencia de bolones.
- Cuchara bivalva (Almeja).

Después de construido el pilote y haber realizado el descabezamiento de él, se debe realizar un Ensayo no destructivo, que puede ser de Capacidad ó Integridad.

6.1 Medidas preventivas y seguridad laboral.

En este tipo de operaciones, es necesario que esté presente un profesional a cargo de la prevención de riesgo, que cumpla con las exigencias de la ACHS, que implemente un control de seguridad en terreno muy alto y exija a todos el uso obligado de elementos de protección, para evitar el riesgo de accidentes que perjudiquen la integridad física de algún trabajador.

Se debe contar con los siguientes elementos de seguridad:

- Casco.
- Calzado de seguridad.
- Ropa de trabajo reflectante.
- Anteojos de seguridad.
- Guantes contra agresiones mecánicas.
- Protección auditiva en ambiente ruidoso.
- Mascara, en presencia de material particulado. (Evitar silicosis en un futuro a largo plazo).

Responsabilidades del Profesional a Cargo de la Seguridad:

- Debe coordinar las instrucciones de seguridad con el Ingeniero Residente, el Jefe de Obra, Maestros, Capataces y Bodeguero.
- Debe indicar al contrato, que tiene que, cercar, señalizar y restringir el acceso a la faena a personas ajenas a la obra.
- Monitoreo y control de vibraciones del proceso de excavación del pilote.
- En caso de que se interrumpa el tránsito, debe informar con una carta a la SIAT de Carabineros de Chile, la cual debe estar firmada, autorizando el corte de tránsito respectivo que involucre la intervención de la obra. El documento deber estar firmado por el Ingeniero Residente, el Inspector Fiscal y el Capitán de Carabineros de la zona, con copia al Sr. Seremi Regional y al Sr. Comisario de la Comisaría correspondiente.

6.2 Aspectos Generales.

El Contratista debe presentar al Inspector Fiscal un plan para la confección de los pilotes, de acuerdo al cumplimiento exigido por la Sección 5.509.301 del Manual de Carreteras, que consistirá en lo siguiente:

- Procedimiento utilizado con el apoyo de planos complementarios.
- Lista de equipos propuestos para la confección de los pilotes, incluyendo grúas, perforadoras, barrenos (hélices), baldes de cuchara, equipos de limpieza final, equipos desarenadores, bombas de lechada (para lodos bentoníticos), equipos de muestreo, tolvas o bombas para hormigón, revestimientos, etc.
- Detalles de la secuencia global de la operación de construcción y la secuencia de la construcción de pilotes en grupo.
- Detalles de los métodos de excavación para los pilotes.
- Registro de control de fabricación de pilotes in-situ.
- Cuando sea necesario el uso de lechada, realizar detalles del método propuesto para mezclar, hacer circular y desarenar dicha lechada.
- Detalles de los métodos para limpiar la excavación de pilotes.
- Detalles de la colocación del hormigón, curado y protección.
- Detalles de cualquier prueba especial que se requiera.
- Otra información mostrada en los planos o solicitada por el Inspector Fiscal.

Los pilotes deben ser construidos de acuerdo a los planos de cálculo y procedimiento de trabajo, aprobado por el Inspector Fiscal.

El contratista deberá garantizar las tolerancias mínimas siguientes para el emplazamiento del pilote, exigidas por la norma europea EN 1536:

| | | |
|--------------------|---|---|
| Verticalidad | : | 1,5% respecto de cualquier plano. |
| Posición en planta | : | $\pm 0,1$ veces el diámetro del pilote. |
| Profundidad | : | ± 15 cm. |

6.3 Definición del frente de trabajo.

Entregar un plan de trabajo presentado por la empresa, especificado por etapas, movimiento de volúmenes de tierra, orden de perforación de pilotes y cantidad de personas en el contrato.

En caso de que el proyecto cruce un río (figura 6.1), se deben construir islas, indicando el sentido del cauce y rellenos.

Si es que se debe extraer material granular del río, se debe llenar el “Formulario Resumen Solicitud de Extracción Mecanizada de Áridos de Cauces” de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). En él se debe indicar cuánto volumen de material se extraerá del cauce.

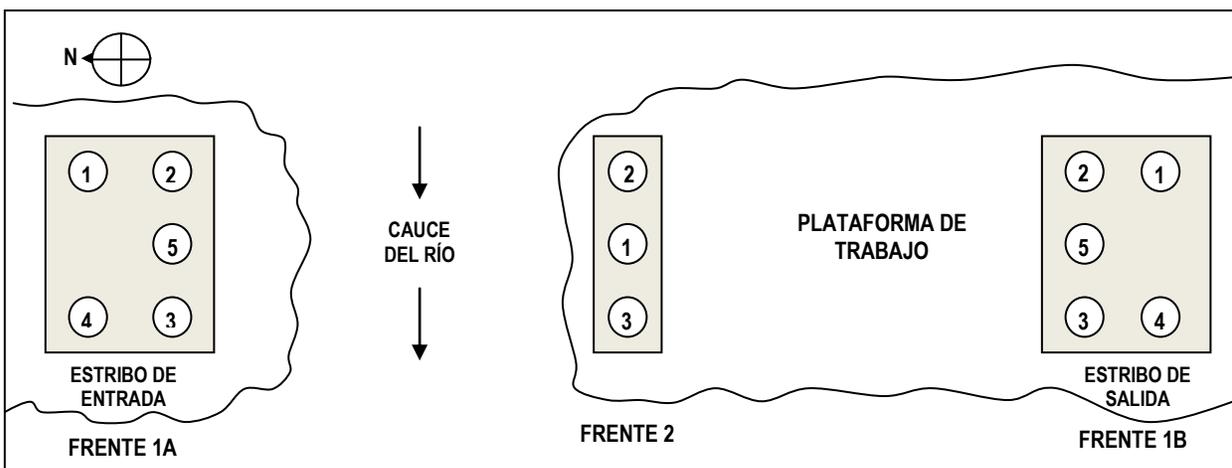


Figura 6.1: Frente de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de realizar excavaciones alternadas, es conocer las características del suelo de fundación en el pilote con menor sollicitación de carga y que esté menos expuesto a fallar.

**FORMULARIO RESUMEN
SOLICITUD DE EXTRACCIÓN MECANIZADA
DE ARIDOS DESDE CAUCES NATURELES**

1. DATOS DEL SOLICITANTE:

Nombre o Razón Social RUT

Domicilio Particular Teléfono

Domicilio Comercial Teléfono

2. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA EXTRACCIÓN SOLICITADA.

Nombre del curso de agua:

Sector:

Comuna: Provincia: Región:

3. VOLUMEN Y DURACIÓN DE LA EXTRACCIÓN.

Fecha inicio de faenas Fecha Término de faenas

Volumen mensual solicitado Volumen Total solicitado

4. TIPO DE MATERIAL A EXTRAER.

Arena(%) Ripio(%)

Bolones.....(%) Integral.....(%)

5. ANTECEDENTES QUE DEBEN ACOMPAÑAR A ESTE FORMULARIO.

- Mapa y croquis de ubicación.
- Fotogramas aéreos.

Firma Solicitante

V°B° D.O.H.

DIRECTOR REGIONAL

Figura 6.2: Formulario resumen solicitud de extracción mecanizada de áridos de cauces”.

Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas (DOH).

6.4 Recepción del acero en la instalación de faena.

Es responsabilidad de todo el equipo de trabajo, Administradores, Maestros, Capataces y Bodeguero, de la recepción y cuidado de las barras y rollos de acero.

Éstos serán transportados a la instalación de faena en camiones rampa, desde la planta del proveedor hasta la instalación de faena, puesto en maestranza para la confección del armado de la malla realizado por el Maestro Enfierrador. Es necesario tener definido el lugar de descarga, limpio, sin obstáculos que impidan el acceso y libre tránsito del camión, libre de baches, sin zonas anegadas, señalizado, con un espacio ancho aceptable para realizar virajes amplios y permitir las maniobras de descarga.

Indicaciones.

- Se debe contar con una grúa para el izado de la carga.
- El sitio de descarga debe estar libre y limpio.
- Las barras de acero deben quedar apoyadas sobre cuartones, aislándolo del contacto con el suelo.
- Comprobar que el material solicitado sea el correcto.

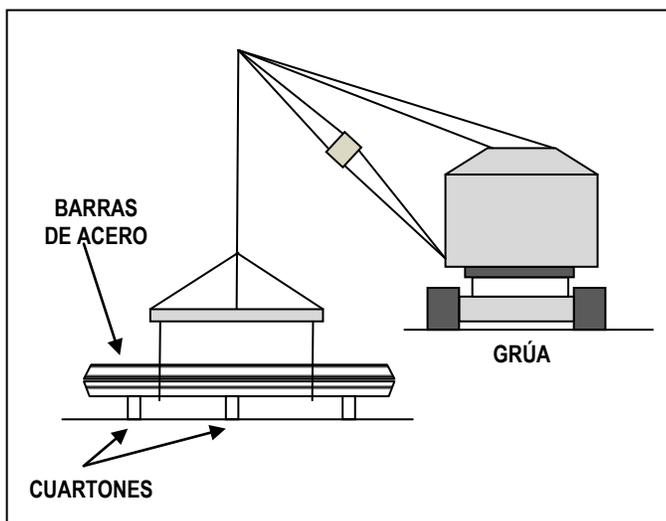


Figura 6.3: Descarga y recepción de las barras de acero en obra sobre cuartones.

Fuente: Elaboración propia, basado en el Manual de Armaduras, Gerdau AZA.

6.5 Preparación del área de trabajo.

Consiste en realizar un escarpe del terreno, nivelar, compactar y marcar con estacas el lugar donde irán ubicados los pilotes. En caso de que haya un río (como referencia de 5 metros de ancho), se debe construir una isla o plataforma de trabajo, con el apoyo de camiones tolva de 10 m³ generalmente, hasta lograr el volumen de relleno requerido, que debe ser nivelado usando excavadoras oruga. Esta actividad puede tardar 2 días en situaciones normales.

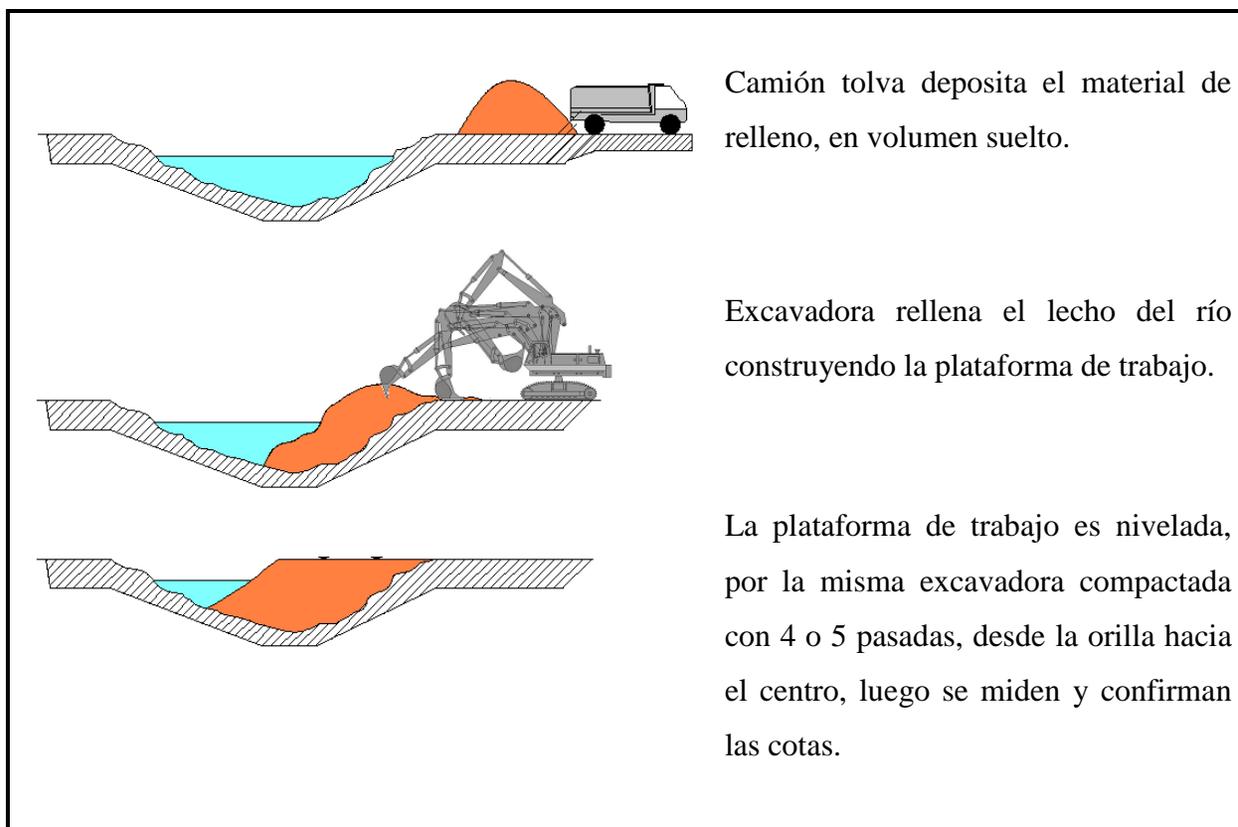


Figura 6.4: Procedimiento constructivo de la plataforma de trabajo en ríos.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante que una vez finalizada la preparación del área de trabajo, se haga una inspección del terreno, para que la máquina pilotera no corra un riesgo de hundimiento.



Figura 6.5: Plataforma de trabajo en Puente Chacabuco, río Biobío, Concepción.

Fuente: Egon Wolf, flickr.com.



Figura 6.6: Plataforma de trabajo en Puente Chacabuco, río Biobío, Concepción.

Fuente: Camila Lassalle, Diario La Tercera.

Se puede observar en la figura 6.5, que la plataforma de trabajo está construida sobre el río Biobío, con un ancho de plataforma de 25 metros aproximadamente y una altura de un 1,80 metros sobre el nivel del agua.

La maquinaria pesada tiene una ruta asignada para el tránsito y la grúa tiene una altura de izado de 20 metros aproximadamente para colocar la colocación de la armadura.



Figura 6.7: Plataforma de trabajo en Puente Quelhue, río Trancura, Pucón.

Fuente: Radiocreaciones.cl.



Figura 6.8: Islas de trabajo en Puente Llacolén, río Biobío, Concepción.

Fuente: Pilotes Terratest.

6.6 Trazado del pilote.

El replanteo lo realiza el equipo topográfico en conjunto con los trazadores, con el uso de coordenadas y la definición de un punto de referencia, no tardando más de 20 minutos aproximadamente.

Los trazadores deben indicar los bordes extremos con dos estacas unidas con una lienza previamente medida y de acuerdo a los planos de cálculo.



Figura 6.9: Ejemplo de replanteo con lienza y estacas.
Fuente: Problemas de ejecución en pilotes perforados.



Figura 6.10(a)



Figura 6.10(b)

Figura 6.9: Trazado del pilote con tiza.

Fuente: Apuntes Profesor Marcelo Márquez.

6.7 Posicionamiento de la pilotera.

El operador de la máquina pilotera, antes de realizar el posicionamiento, debe verificar que el mecanismo, sistema hidráulico, frenos, dirección e izado de la máquina funcionan correctamente y que los elementos auxiliares estén limpios y en perfecto estado, para no dañar la excavación mientras sea realizada.

Cuando la pilotera esté en marcha atrás, debe emitir un sonido de alerta, para que los trabajadores tomen las precauciones en forma inmediata.



Figura 6.11: Posicionamiento de la pilotera.

Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Región Metropolitana. Elaboración propia.

Al realizar el trayecto hasta el lugar del trazado, indicado por el profesional a cargo de la seguridad y de acuerdo al plan de trabajo establecido por la constructora. El operador de la máquina pilotera debe tener en consideración que no debe situarse a menos de 2 metros de la coronación de cualquier talud que esté por debajo de la oruga de la máquina, debido a la posible inestabilidad del terreno y la presencia de excavaciones cercanas.

6.8 Control de perforación.

Después de haber realizado el replanteo de los pilotes y aprobado por el Inspector Fiscal, se debe proceder a la excavación realizada con la máquina pilotera y con el apoyo de elementos auxiliares tales como:

- Hélice o barrena.
- Barril excavador o cubo de perforación.
- Trépano en caso de presencia de bolones.
- Cuchara bivalva (Almeja).

La profundidad y confirmación de la cota de fundación es realizada por el equipo topográfico que debe llevar un registro continuo de cada pilote, asignado con un número, puesto en el informe topográfico para pilotes (figura 6.12). Las cotas podrán ser ajustadas, si es que durante el proceso no se encontró el material adecuado o difiere con el tipo de suelo establecido para el diseño del pilote.

Se deberán tomar muestras del estrato de suelo observado descrito de acuerdo a la textura, color, olor, humedad, plasticidad y a los contenidos del estrato como, grava, arena, arcilla, limos, material orgánico y bolones, si es que éstos se presentan.

La excavación y las muestras obtenidas del suelo, deben ser inspeccionadas por el Inspector Fiscal, para dar paso al hormigonado del pilote.

| LOGO DE LA EMPRESA | INFORME TOPOGRÁFICO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------------|------------------|-------------|---------------------------------|------------|----------|--------------------------|------------|---|-------|------------|---|-------|------------|---|-------|------------|---|-------|------------|--|--|--|
| | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Obra:</td> <td colspan="2">Nombre del Puente</td> </tr> <tr> <td>Referencia:</td> <td>Esquema para control de pilotes</td> <td>Fecha:</td> </tr> <tr> <td>Elaboró:</td> <td>Nombres personas a cargo</td> <td>Pág:</td> </tr> </table> | Obra: | Nombre del Puente | | Referencia: | Esquema para control de pilotes | Fecha: | Elaboró: | Nombres personas a cargo | Pág: | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obra: | Nombre del Puente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Referencia: | Esquema para control de pilotes | Fecha: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaboró: | Nombres personas a cargo | Pág: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Con esta ficha se presenta informes de cotas de fundaciones de los pilotes estribo de salida.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">N° DE PILOTE</th> <th style="width: 40%;">COTA DE FUNDACIÓN</th> <th style="width: 35%;">FECHA DE CONTROL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">83,9</td> <td style="text-align: center;">15-12-2007</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">83,92</td> <td style="text-align: center;">16-12-2007</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">84,03</td> <td style="text-align: center;">17-12-2007</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">83,91</td> <td style="text-align: center;">22-12-2007</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">84,01</td> <td style="text-align: center;">21-12-2007</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">84,02</td> <td style="text-align: center;">20-12-2007</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> | | N° DE PILOTE | COTA DE FUNDACIÓN | FECHA DE CONTROL | 1 | 83,9 | 15-12-2007 | 2 | 83,92 | 16-12-2007 | 3 | 84,03 | 17-12-2007 | 4 | 83,91 | 22-12-2007 | 5 | 84,01 | 21-12-2007 | 6 | 84,02 | 20-12-2007 | | | |
| N° DE PILOTE | COTA DE FUNDACIÓN | FECHA DE CONTROL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 83,9 | 15-12-2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 83,92 | 16-12-2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 84,03 | 17-12-2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 83,91 | 22-12-2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 84,01 | 21-12-2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 84,02 | 20-12-2007 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| F7-08.1 / REV 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 6.12: Ficha informe topográfico para pilotes N°1.
 Fuente: Elaboración propia, basada en Constructora Lambda Ltda.

| | | |
|-----------------------|--|--------|
| LOGO DE LA EMPRESA | INFORME TOPOGRÁFICO | |
| | Obra: Nombre del Puente | Fecha: |
| | Referencia: Esquema para control de pilotes | Pág: |
| | Elaboró: Nombres personas a cargo | |

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 |

Estribo
Salida
km 1.708,5

| | | |
|--|--|--|
| | | |
| | | |

Estribo
Salida
km 1.708,5

F7-08.1 / REV 0

Figura 6.13: Ficha informe topográfico para pilotes N°2.
 Fuente: Elaboración propia, basada en Constructora Lambda Ltda.

6.9 Encamisados.

Las camisas según la Sección 5.509.302(1), del Volumen 5 del Manual de Carreteras 2012, deberán ser de metal, suaves, limpias, impermeables y con alta resistencia para soportar tanto los esfuerzos debidos al manejo e hinca, como la presión del hormigón fresco y del suelo que lo rodea.

Las camisas que sean recuperables, deberán ser izadas con tecles por la máquina pilotera y puestas en el lugar trazado, para ser hincadas en el suelo mediante rotación y presión con el apoyo de una entubadora (morsa), la cual servirá también para su extracción.

La extracción de la camisa debe ser realizada cuando el hormigón haya llegado a la superficie y mientras éste permanezca dócil y trabajable, por lo que se exige continuidad en el proceso de vaciado y una extracción de la camisa a una velocidad lenta y uniforme manteniendo la verticalidad que debe ser corroborada con una regla nivel.



Figura 6.14: Camisas acopiadas en instalación de faena.

Fuente: Elaboración propia, Puente Ranchillo, María Pinto.

6.10 Colocación de las armaduras.

Al estar realizada la excavación y obtenida la ficha de sello de fundación del pilote, se deberá colocar la armadura con el izado realizado por la máquina pilotera, que debe estar posicionada en la instalación de faena.

El armado de las mallas se realizará sobre cuarterones de madera, distanciados cada 2 metros aproximadamente, procurando hacer el menor número de empalmes en zonas de alta sollicitación de esfuerzos. Por lo general se hace un solo empalme, en una zona de baja sollicitación, ya que la altura de levante de la máquina pilotera llega hasta los 10 metros por sobre el nivel de la superficie del terreno y los pilotes miden entre 15 y 20 metros generalmente.

La separación mínima entre armaduras será de 80 mm, para que el hormigón vertido pase con facilidad a través de la malla, para darle forma y homogeneidad al pilote.

La amarra de la malla será retorcida, con alambre negro N°18. Este amarre es usado habitualmente en mallas pesadas, que deben ser levantadas con grúa, en este caso el alambre se dobla por la mitad, quedando doble, luego se da una vuelta completa alrededor de la barra longitudinal, quedando sujeta en 2 puntos con la armadura espiral con los alambres en paralelo, para luego retorcer éste por sobre la armadura espiral.

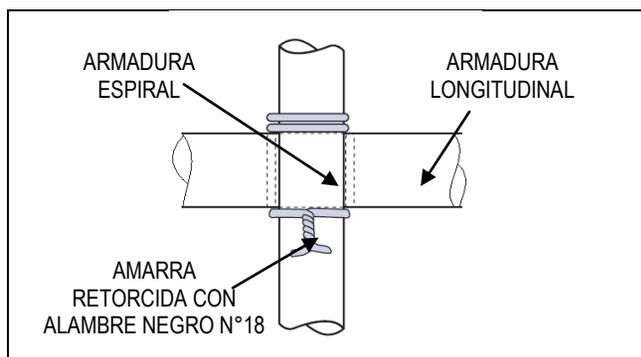


Figura 6.15: Amarra retorcida con alambre negro N°18.

Fuente: Manual de Armadura para Refuerzo en Hormigón, Gerdau AZA.

Como método constructivo, será necesario poner sujetadores cada 2 o 3 metros y barras atieadoras, que quedarán perdidas en el hormigón. Éstas sirven para darle estabilidad al canasto cuando sea izado y colocado en la excavación.



Figura 6.16: Confección del canasto o armadura.

Fuente: Apuntes Profesor Marcelo Márquez.



Figura 6.17: Armaduras de pilotes con distanciadores de hormigón, dispuestas cada 150 cm.

Fuente: Galería de mundocivil.com.

La colocación de la armadura será en tramos de 10 metros aproximadamente, con una cantidad generosa de distanciadores (calugas) de hormigón ó acero, puestos a una distancia máxima de 150 cm y que no se dañen, debido al roce entre la camisa, el suelo perforado y las barras de la malla. El objetivo es garantizar la posición concéntrica de la armadura dentro de la excavación.

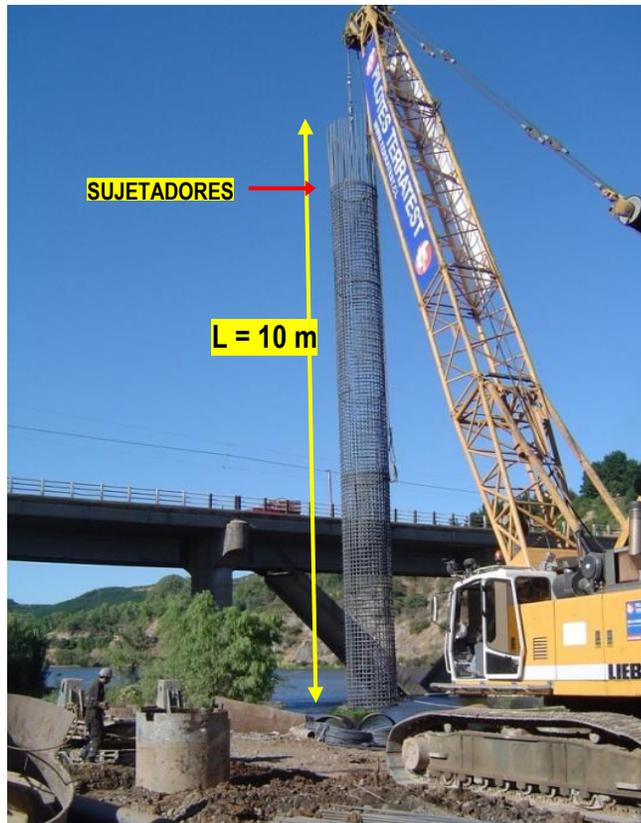


Figura 6.18: Colocación de malla o armadura y altura de izado.

Fuente: Apuntes Profesor Marcelo Márquez.

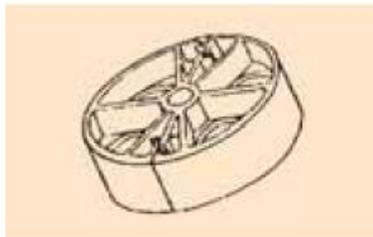


Figura 6.19: Separador DSWS (acero), recubrimientos de 60 a 150 mm.

Fuente: Revista Zuncho N° 13, Septiembre 2007.

6.11 Hormigonado con tubo tremie.

Para el vaciado del hormigón se deberán tener las armaduras colocadas y aprobadas por el Inspector Fiscal, como también los elementos auxiliares de la máquina pilotera, 2 jaulas del tubo tremie con 20 secciones de tubo cada una y la camisa puesta, si es que ésta se requiere.

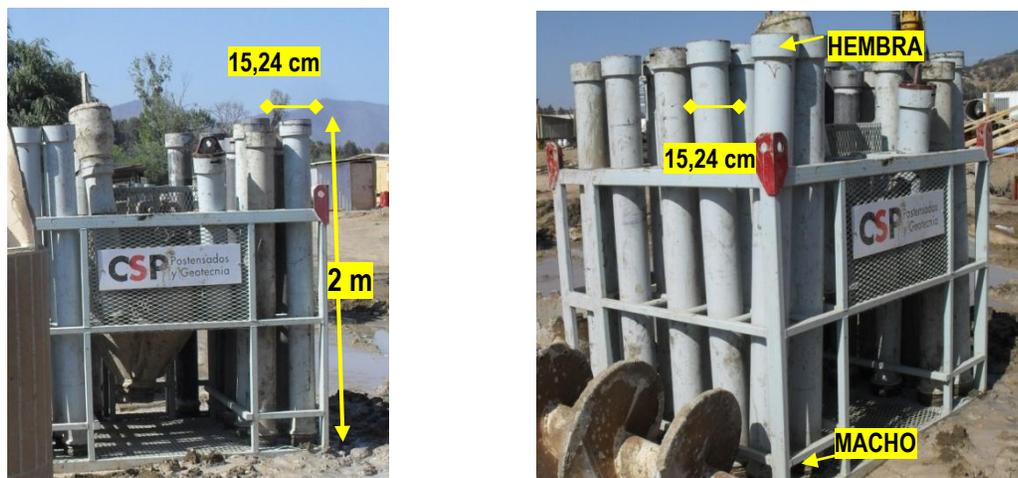


Figura 6.20: Jaula con tramos del tubo tremie sin colocar.

Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Región Metropolitana. Elaboración propia.

El largo de cada tubo tremie es de 2 metros y un ancho de 20 cm en la parte hembra y un diámetro de operación de 6'' (15,24 cm, en macho), ya que diámetros más pequeños puede causar bloqueo con hormigón dentro del tubo. Cada tramo se va enroscando con el otro, durante el procedimiento de colocación en la perforación, dentro de la camisa, hasta alcanzar la base del pilote.

El extremo superior del tubo tremie tiene forma de embudo, por donde se vaciará el hormigón del camión mixer. El extremo inferior debe quedar embebido en el hormigón a una profundidad de 2 metros y con una altura máxima de caída de 1,5 metros sobre la cota de fundación del pilote, al inicio de la operación, que debe ser bajo el agua, si es que es el caso.

La altura adecuada de hormigonado realizada con el tubo tremie, evita la aparición de bulbos a mayores profundidades.

El hormigonado se realizará de acuerdo a la Sección 5.509.302(4), Volumen 5 del Manual de Carreteras 2012 y se deberá llenar una ficha de control de ejecución del pilote.

El hormigón debe ser de consistencia fluida con un cono de 18 cm, con un tamaño máximo de grueso de 20 mm. Debido a la fluidez del hormigón, el vaciado irá llenando el espacio ocupado por el grosor de la camisa mientras ésta se extraiga y rellenando la cavidades de la sobre excavación, que se encuentran con el agua, desplazándola hasta la superficie por el empuje provocado por la columna de hormigón.



Figura 6.21: Ensayo de cono de abrams 18 cm, hormigón fluido.

Fuente: Apuntes Profesor Marcelo Márquez.

Al comenzar el hormigonado puede usarse alternativamente un tapón (pelota de goma inflada) en el extremo inferior del tubo tremie, para mantenerlo seco durante su colocación, impidiendo el paso del agua dentro del tubo tremie.

La operación de hormigonado comienza, colocando la base del extremo del tubo tremie inferior en el fondo del pilote (cota de fundación del pilote), para luego llenar el tubo de hormigón, lo que evita la segregación, luego se levanta unos 15 cm el tubo del hormigón para dejarlo fluir y quedando una capa de hormigón de 50 cm en la base del pilote, que funciona como sello de fundación.

El tubo tremie debe quedar 3 metros aproximadamente, embebido en el hormigón, realizando la operación en forma continua, evitando la segregación.



Figura 6.22: Vaciado de hormigón con uso de tubo tremie.

Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto. Asesoría Bogado.

La columna de presión de hormigón, permite contrarrestar la presión del agua, entonces se retira lentamente el encamisado con el uso de la entubadora (morsa) y la cabeza de rotación de la pilotera.

La operación no necesita vibrado, ya que la consistencia fluida del hormigón es suficiente, para que por su propio peso y fluidez, llene todo el volumen de la perforación.

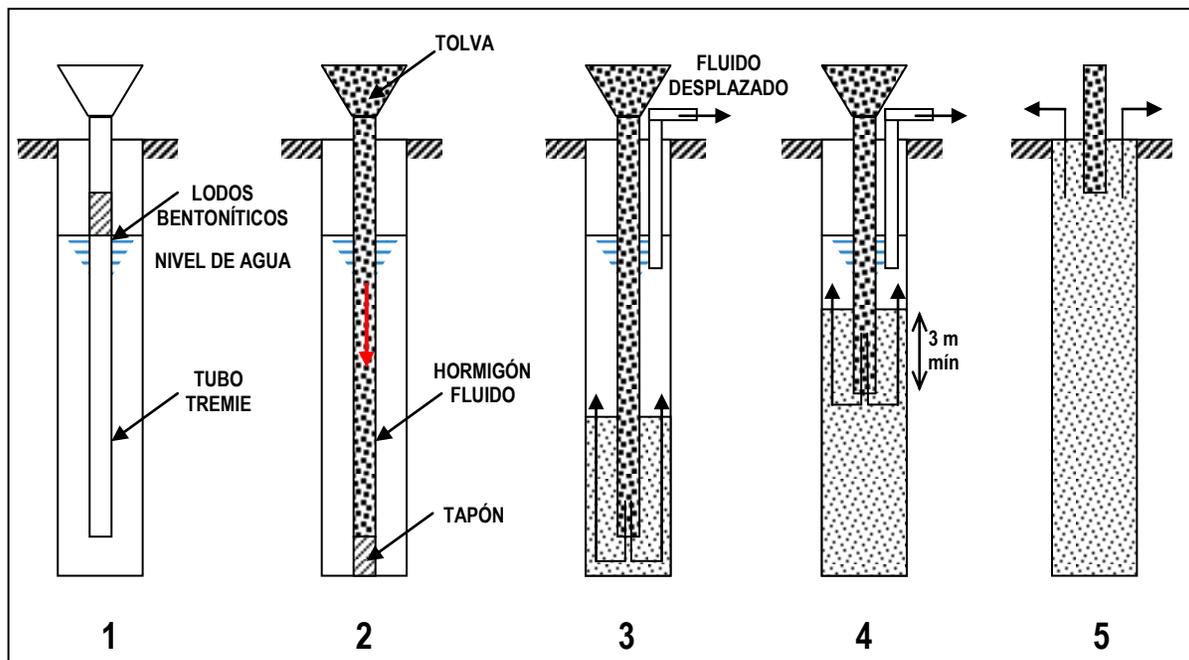


Figura 6.23: Fases de hormigonado mediante tubo tremie.

Fuente: Elaboración propia, basado en Fleming, W. K., 1977.

Procedimiento de uso de tubo tremie.

1. Colocación del tubo tremie y el tapón por la parte superior. Con apoyo de lodos bentoníticos, si es que fuera necesario.
2. Vaciado del hormigón fluido dentro de la tubería tremie con el uso de tolva (embudo del tremie).
3. Levantar entre 5 y 10 cm el tubo tremie del fondo, durante el hormigonado para ir dando paso al hormigón vaciado en la perforación. En esta etapa la columna de hormigón irá desplazando la columna de agua (1 m de hormigón desplaza 2,5 de agua).
4. Mantener siempre una sección de 3 metros como mínimo del tubo tremie, dentro del hormigón, en forma continua, durante el vaciado del hormigón.
5. El hormigón llega a la superficie con material contaminado, desbordándose por sobre la camisa, en ese momento el bombeo se detiene y se va acortando el tremie gradualmente hasta que todo el hormigón haya sido vertido en la excavación, completando la fase de hormigonado del pilote hasta la parte superior.

| | | | | | | | |
|-----------------------|--|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| LOGO DE LA EMPRESA | FICHA CONTROL EJECUCIÓN PILOTES PRE-EXCAVADOS | | | | | | |
| MANDANTE: | | NOMBRE DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA | | | | | |
| OBRA: | | NOMBRE DEL PUENTE | | | | | |
| EQUIPO: | | PILOTERA BAUER BG-7 | | | | | |

| | | | | |
|---------------------|---------|--------------------------|--|-----------|
| Pilote N° | 1 | Cono | | Suger. 18 |
| Diámetro | 1000 mm | Revisión Armadura | | 7.9 |
| Ubicación | Est. N | Volumen Teórico Hormigón | | |
| Cota de Terreno | 95,60 | Volumen Real Hormigón | | |
| Cota Nivel Freático | 93,60 | Largo Total Pilote | | 11,64 |

| | | | | |
|------------------------|--------|--------------|--------------|-------|
| Cota Inicio Excavación | 95,60 | Topografía | Lambda Ltda | |
| Cota Fin Excavación | 82,36 | Punto | | |
| Cota Nivel Hormigonado | | Fecha / Hora | 14 12 07 | |
| Tipo Hormigón | H - 30 | | 16:35:00 | |
| Tamaño Máx. Agregado | 20 mm | Topógrafo | Edm. Pinilla | Firma |

| Excavación | Día | Hr. Inicio | Cota | Día | Hr. Término | Cota | Observaciones |
|------------|--------|------------|------|--------|-------------|-------|---------------|
| 1ª | 13-Dic | 9.30 | 95,6 | 12-Dic | 16.00 | 84,00 | Material fino |
| 2ª | 14-Dic | 19.30 | 84,0 | 14-Dic | 16.30 | 82,36 | |
| 3ª | | | | | | | |

| Colocación Enfierradura | Día | Hr. Inicio | Cota | Día | Hr. Término | Cota | Observaciones |
|-------------------------|--------|------------|------|--------|-------------|------|---------------|
| 1ª | 14-Dic | 16.50 | | 14-Dic | 17.00 | | |
| 2ª | | | | | | | |
| 3ª | | | | | | | |

| Hormigonado | Día | Hr. Inicio | Cota | Día | Hr. Término | Cota | Observaciones |
|-------------|--------|------------|------|--------|-------------|------|---------------|
| 1ª | 15-Dic | 8.30 | | 15-Dic | 11.05 | | |
| 2ª | | | | | | | |
| 3ª | | | | | | | |

| Profundidad Terreno (m) | Descripción Visual Suelo extraído de excavación | Observaciones |
|-------------------------|---|---------------|
| 1ra capa | Grava arenosas bolones | |
| 2da capa | Grava arenosas | |
| 3ra capa | Arena gravosa | |
| 4ta capa | Suelo limo arcilla | |
| 5ta capa | Grava arenosa bolones | |

| | |
|-----------------------------|---|
| Recibido por: Firma: | Supervisor: Firma: Fecha: |
|-----------------------------|---|

Figura 6.25: Ficha de Control de ejecución de pilotes pre-excavados.

Fuente: Elaboración propia, basada en Pilotes y Entibaciones, Puente Caballo Blanco.

6.12 Perforación por rotación en seco con uso de hélice.

De acuerdo a la Sección 5.509.302 (1) a, Volumen 5 del Manual de Carreteras, la perforación se realiza en terrenos compactos y estables sin la presencia de agua y debe permitir la inspección visual de las paredes de la excavación relativamente seca. El método empleado consiste en realizar una excavación helicoidal (usar hélice o barrena del diámetro del pilote) y retirar el material granular.

La hélice es fijada en posición vertical y conectada al kelly por el operador de la máquina pilotera, confirmando la verticalidad en la pantalla ubicada dentro de la cabina. La barrena o hélice se hace rotar sobre el trazado del pilote dibujado en el terreno, alcanzando una profundidad de 2 metros aproximadamente, luego la pilotera iza el kelly fuera de la perforación, sacudiendo la hélice con aplicación de 3 o 4 giros cortos, removiendo el material del elemento perforador y dejándolo caer en un acopio establecido junto a la excavación en proceso.

Como el kelly va fijado a un cable de acero, el cual se mueve por el uso de un cabrestante, el límite de la perforación la dará el largo del cable. Generalmente no se requieren más de 30 metros por lo que la máquina pilotera puede cumplir la actividad correctamente.

Después de haber usado la hélice, ésta se retira y se instala un barril excavador que debe limpiar el fondo, removiendo todo el material que pueda contaminar el hormigón que será vertido en la perforación. La limpieza y el largo del cable de la máquina, permite medir la profundidad del pilote. Sin embargo, la confirmación de la cota de fundación del pilote debe ser verificada por el equipo topográfico, con el uso de una huincha métrica o lienza fijada a un plomo, llevando un registro con fecha y hora de realización del control para cada pilote por cepa ó estribo.

Este método como es en seco, no requiere el uso de camisas. Sin embargo hay que tener presente que durante el hormigonado con tubo tremie, puede desprenderse parte de la pared de la excavación, lo que afectaría el diámetro y homogeneidad del pilote.

Características: Perforación sin vibraciones.

Diámetros usuales de excavación: 1,0 m, 1,2 m y 1,5 m

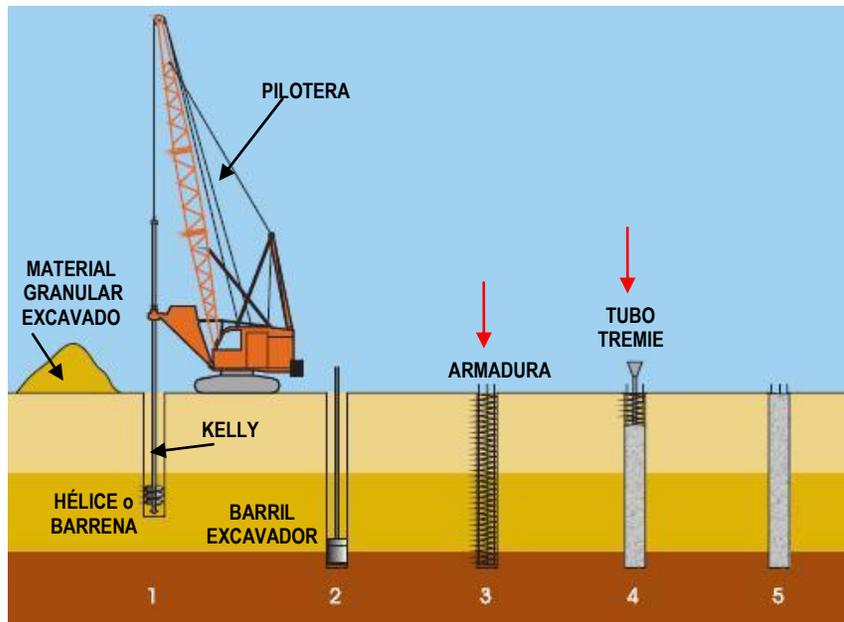


Figura 6.26: Esquema de perforación por rotación en seco.

Fuente: Catálogo de Pilotes Terratest.

Descripción del Método.

1. Excavación por rotación en seco, con hélice sujeta a un kelly.
2. Limpieza del fondo con barril excavador.
3. Colocación de la armadura a través de izado realizado por la pilotera.
4. Vaciado del hormigón usando tubo tremie.
5. Pilote terminado.

El vaciado del hormigón debe ser en forma continua, en una perforación relativamente seca, con un hormigón fluido de cono 18 cm y vigilando que el inicio del vertido sea una profundidad en la que el tubo tremie esté como máximo 1,5 metros por sobre la cota de fundación del pilote (C.F.P), inmediatamente se debe ir sacando el tubo en vertical lentamente y sin movimientos horizontales, para ir dejando paso al hormigón vertido.

6.13 Perforación por rotación con lodos bentoníticos con uso de barril excavador.

De acuerdo a la Sección 4.509.302 (1) b, Volumen 5 del Manual de Carreteras, la perforación se realiza en terrenos que tienen un suelo poco compacto, con presencia de agua, suelos con una alta permeabilidad y en terrenos especialmente blandos donde no es posible ejercer la suficiente capacidad de soporte.

El lodo estabilizante, llamado lodo bentonítico, es un fluido de origen mineral y que requiere la instalación de una planta de lodos bentoníticos (construcción de una piscina, figura 6.27) para realizar la fabricación del lodo, el cual se conduce hasta el pilote a través de una manguera, con el apoyo de una motobomba.



Figura 6.27: Piscina de lodos bentoníticos.

Fuente: MOP.

La propiedad de este lodo, es que una vez colocado, se mantienen las partículas en suspensión dentro de la perforación por lo que el material puede ser reutilizado, recuperando por lo general el 80% del lodo, el otro 20% se pierde entrando en la porosidad del terreno y en el terreno superficial, debido al empuje provocado por el hormigón.

Tabla 6.1: Propiedades del lodo bentonítico.

| ENSAYE | | EXIGENCIA | | | MÉTODO |
|--------------------|--------------------|-----------|------------|---------------------|------------------|
| | | Fresca | Reutilizar | Antes de Hormigonar | |
| Densidad | kg/cm ³ | < 1,100 | - | < 1,150 | 8.302.2 (LNV 16) |
| Valores Marsh | s | 32 a 50 | 32 a 50 | 32 a 50 | |
| Pérdida del fluido | cm ³ | < 30 | < 50 | - | |
| PH | | 7 a 11 | 7 a 12 | - | |
| Contenido de arena | % | - | - | < 4 | 8.202.9 (LNV 71) |

Fuente: Tabla 5.509.302.A, Volumen 5 del Manual de Carreteras.

El relleno con lodo, se realiza por sobre 1,5 metros sobre el nivel de agua, produciendo la carga hidrostática necesaria para el proceso, sobre todo si existen rellenos o estratos de baja compacidad y alta permeabilidad.

Para la realización del método, se recomienda la colocación de 2 tramos de camisas de 3 metros cada una, actuando como moldaje y sujetando el estrato de suelo, para evitar un desprendimiento. Una vez alcanzado el estrato impermeable se deja de utilizar el lodo y se sigue la perforación del pilote en seco.



Figura 6.28: Lodo colocado en la excavación del pilote.

Fuente: MOP.

El excesivo tiempo de espera del lodo, puede provocar un ensanchamiento en el diámetro de la excavación durante el hormigonado, produciendo una pérdida en la calidad del pilote.

La perforación con cubo se realiza con movimiento ascendente – descendente creando succiones locales y variación en el nivel del lodo bentonítico debido al volumen desplazado por el barril excavador y el uso del kelly, provocando un sobredimensionamiento en las paredes de la excavación. Por lo que se exige control y un chequeo previo de los elementos de perforación.

Características: Perforación con mínimas vibraciones.

Diámetros usuales: 1,0, 1,2 y 1,5 m.

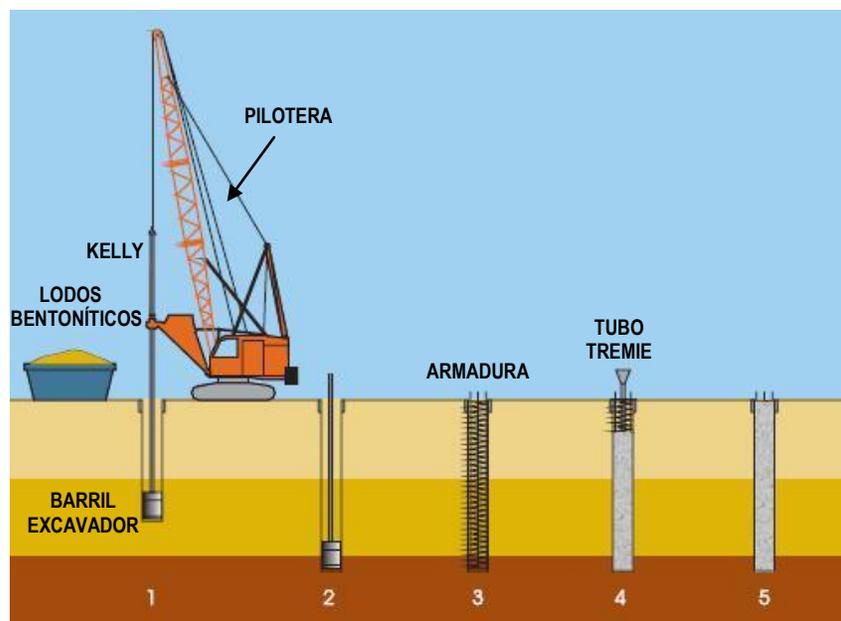


Figura 6.29: Esquema de perforación por rotación con lodos bentoníticos.

Fuente: Catálogo de Pilotes Terratest.

Descripción del Método.

1. Excavación con hélice, estabilizando la perforación con lodos bentoníticos.
2. Limpieza del fondo con barril excavador y/o Air lift, sacando el lodo contaminado.
3. Colocación de la armadura.
4. Vaciado del hormigón usando tubo tremie y recuperación del lodo.
5. Pilote terminado.

6.14 Perforación por rotación con camisa recuperable con uso de hélice.

El método se realiza según la Sección 5.509.302(1) c, Volumen 5 del Manual de Carreteras. Debiéndose usar en situaciones donde haya presencia de agua y también suelo relativamente seco.

El método sirve para todo tipo de suelos y con presencia de agua, excepto si hay grandes bolones, en caso de que así fuese, se debe ocupar un trépano, que es una herramienta de perforación con punta de cruz que se deja en caída libre, demoliendo el bolón que es retirado con el uso de cuchara bivalva en estado disgregado, para luego continuar con la perforación.

La perforación se realiza por rotación, usando una hélice (barrena) y camisa que debe ser recuperable, las que deben estar limpias, libres de material contaminado, ya que pueden afectar la trabajabilidad del hormigón.

Las camisas tienen un espesor de 2 cm, diámetros son 1,0, 1,2 y 1,5 m, y un largo de 3 metros. Ésta se iza con la máquina pilotoera y es puesta en una entubadora (morsa), que sirve para sujetar y guiar la camisa.

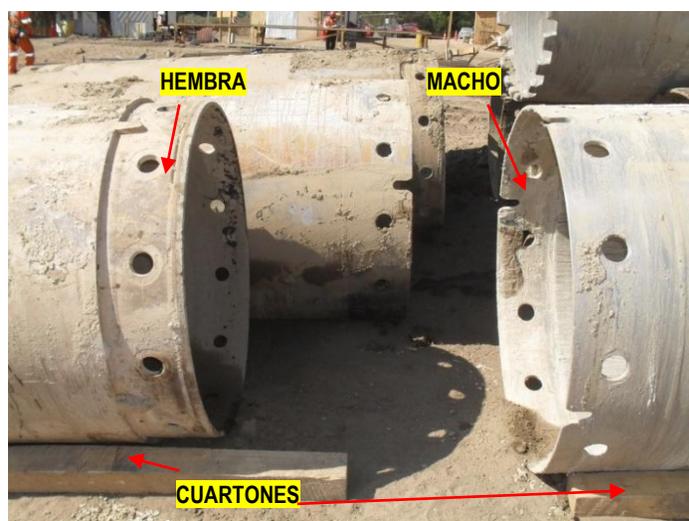


Figura 6.30: Sistema macho y hembra de camisas recuperables.

Fuente: Elaboración propia, Puente Ranchillo, María Pinto, Región Metropolitana.

Se debe realizar una excavación de 3 metros aproximadamente, luego izar el tubo y colocarlo dentro de la excavación e ir alcanzando mayor profundidad mientras se van agregando más metros lineales de tubo, que deben ir sujetos con unos pasadores en cada tramo conectados mediante el sistema macho y hembra.



Figura 6.31: Secuencia de excavación y encamisado.

Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Región Metropolitana. Asesoría Bogado.

El uso de la entubadora (morsa) será necesario para realizar el encamisado, dándole rotación y vibración a la camisa mientras es hincada durante la excavación con hélice, con una fuerza de hincado de 200 kN y menor a 330 kN.

La máquina pilotera, debe indicar en la pantalla del operador, la verticalidad del mástil, sin embargo siempre es recomendable al inicio de la excavación poner una regla nivel en el manto de la camisa, para confirmar la verticalidad.

Las tolerancias geométricas necesarias para la verticalidad en la construcción del pilote serán:

0,10 D para pilotes $1,0 \text{ m} < D \leq 1,5 \text{ m}$

Desviación del pilote $\leq 0,02 \text{ m/m}$

Desviación en planta de ejes de ensanchamientos en relación con el eje del pilote $\leq 0,10 D$

En excavaciones con presencia de agua se deberá ocupar camisa sujeta con una morsa, evitando el desprendimiento del suelo inestable en el exterior del encamisado, que provoque un ensanchamiento irregular en el diámetro del pilote, cuando sea vaciado el hormigón por el tubo tremie.

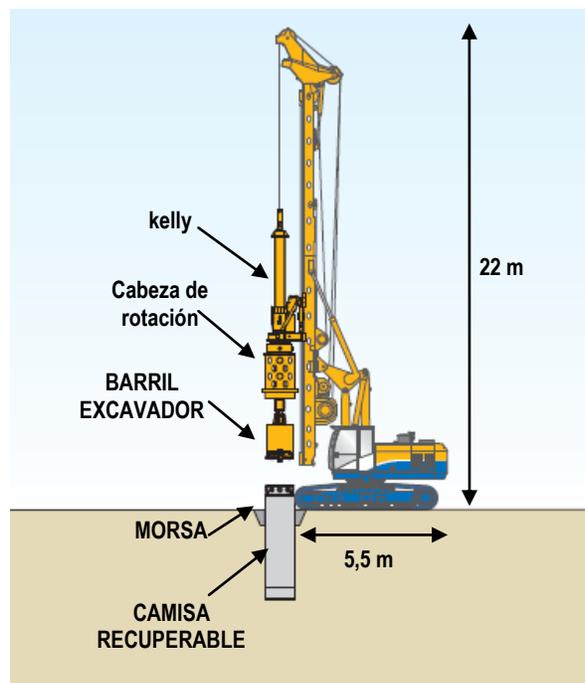


Figura 6.32: Excavación con barril excavador y camisa recuperable.

Fuente: Elaboración propia, basada en Bauer Spezialiebbau.

La excavación se deberá realizar hasta bajo el nivel freático con el apoyo de hélice y barril excavador. Si las condiciones del terreno no siguen siendo aptas, como por ejemplo la presencia de una napa artesiana con presión de agua excesiva, la solución será realizar una excavación con camisa perdida hasta el estrato de suelo impermeable, para producir el correcto sellado del tramo revestido.

Luego de haber realizado la excavación que debe estar aprobada por el Inspector Fiscal, se debe colocar la armadura, dentro de la camisa. La armadura debe llevar distanciadores (separadores o calugas) cada 150 cm aproximadamente.

Una vez puesta la camisa, se debe hacer la última limpieza del fondo de la perforación, retirando todo el material que se pueda con el uso del barril excavador.

Finalmente, el tubo tremie debe ser colocado dentro de la armadura con la camisa puesta, para dar inicio al vaciado de hormigón de consistencia fluida (cono 18 cm).

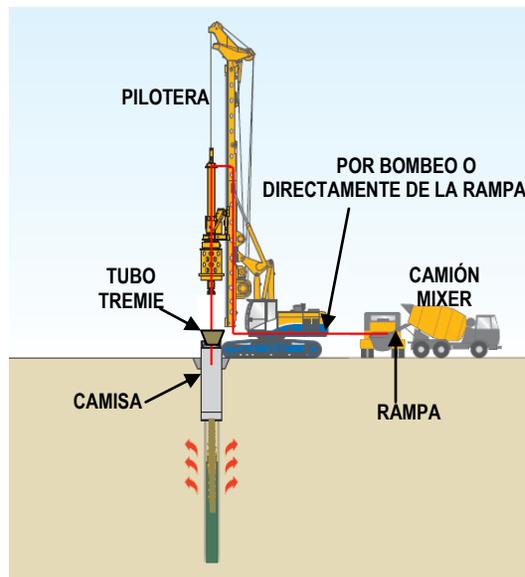


Figura 6.33: Esquema de vaciado de hormigón con el uso de camisa recuperable.

Fuente: Elaboración propia, basada en Bauer Spezialieffbau.

Características: Perforación con mínimas vibraciones.
Diámetros usuales: 1,0, 1,2 y 1,5 m.

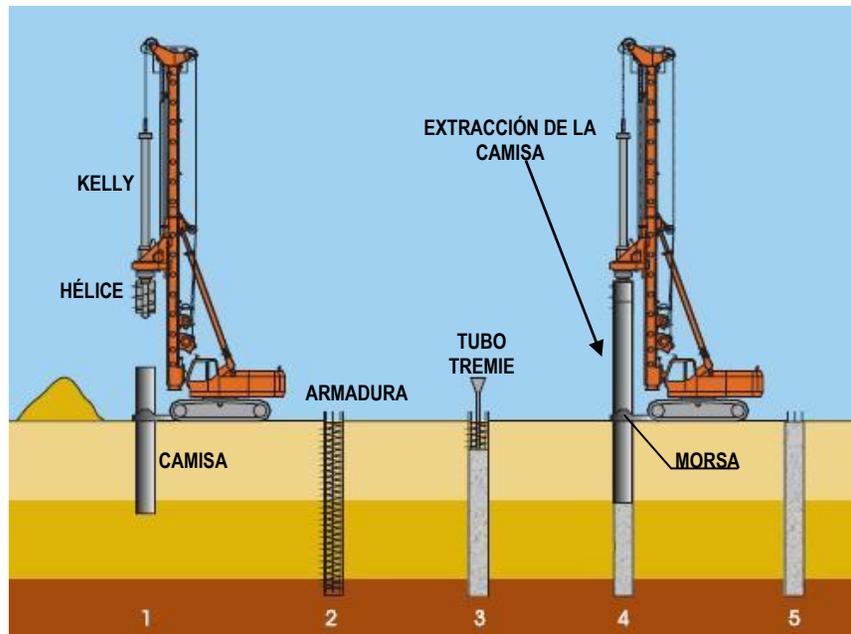


Figura 6.34: Esquema de perforación con camisa recuperable.

Fuente: Catálogo de Pilotes Terratest.

Descripción del Método.

1. Excavación con hélice helicoidal, conteniendo las paredes de la perforación mediante la camisa recuperable y con el apoyo de barril excavador en excavación cercana a la base.
2. Colocación de la armadura.
3. Vaciado del hormigón usando tubo tremie.
4. Extracción simultánea de las camisas recuperables durante el hormigonado.
5. Pilote terminado.

6.15 Perforación por rotación con camisa perdida con uso de hélice.

El método se realiza según la Sección 5.509.302(1) c, Volumen 5 del Manual de Carreteras. La perforación se realiza por rotación con uso de hélice y con el apoyo de una entubadora (morsa), para guiar y sujetar la camisa que va unida en forma definitiva al pilote.

Este método se usa cuando la condición del suelo y la presencia de flujo de agua son muy agresivas para el hormigón fresco, de esta manera la camisa protegerá el tramo de hormigón más expuesto en el pilote.

El encamisado debe ser continuo, para lograrlo se deberán ir soldando las camisas perdidas (8 mm de espesor), que son distintas a las recuperables (2 cm de espesor). En algunos casos, es necesario sobre ensanchar el diámetro, para poder hincar la camisa con el uso de la entubadora (morsa).

Al igual que el método anterior (perforación por rotación con camisa recuperable con uso de hélice), se realiza el mismo procedimiento pero con distinta camisa.

En primer lugar, debe hincarse el tramo más largo de 5 ó 10 metros generalmente y luego ir soldando los tramos más cortos de 3 metros, hasta completar el encamisado requerido por el proyecto.

Después de haber realizado la perforación y aprobado por escrito por el Inspector Fiscal. Se debe recortar la parte superior de la camisa, a la altura de cota establecida por el proyecto, para colocar la armadura y el hormigón con una consistencia de cono 18 cm con el apoyo de tubo tremie, dentro del encamisado que se deja perdido.

Características: Perforación con mínimas vibraciones.
Diámetros usuales: 1,0, 1,2 y 1,5 m.

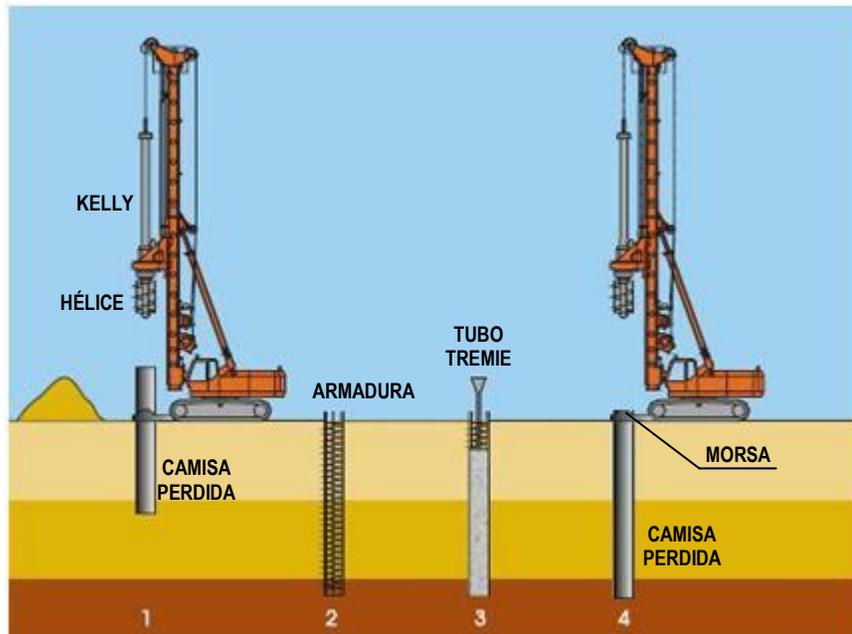


Figura 6.35: Esquema de perforación por rotación con camisa perdida.

Fuente: Catálogo de Pilotes Terratest.

Descripción del Método.

1. Excavación con hélice helicoidal, conteniendo las paredes con la camisa.
2. Colocación de la armadura.
3. Vaciado del hormigón usando tubo tremie.
4. Se deja la camisa por requerimiento del contratista y el pilote terminado.

6.16 Perforación con cuchara bivalva (almeja) y camisa recuperable.

Las aplicaciones de este método es en todo tipo de suelos, incluyendo grandes bolones, que deben ser demolidos con un trépano, para luego retirar el material granular.

El trépano se debe utilizar, dejándolo caer libremente sobre el bolón, hasta lograr la demolición, para luego ser retirado con el apoyo de una cuchara bivalva.

La cuchara bivalva (almeja), es un elemento de perforación que está suspendido de un cable, con el cual se da el alcance a través del cabrestante de la máquina pilotera, llegando a la profundidad que le permita el largo del cable.

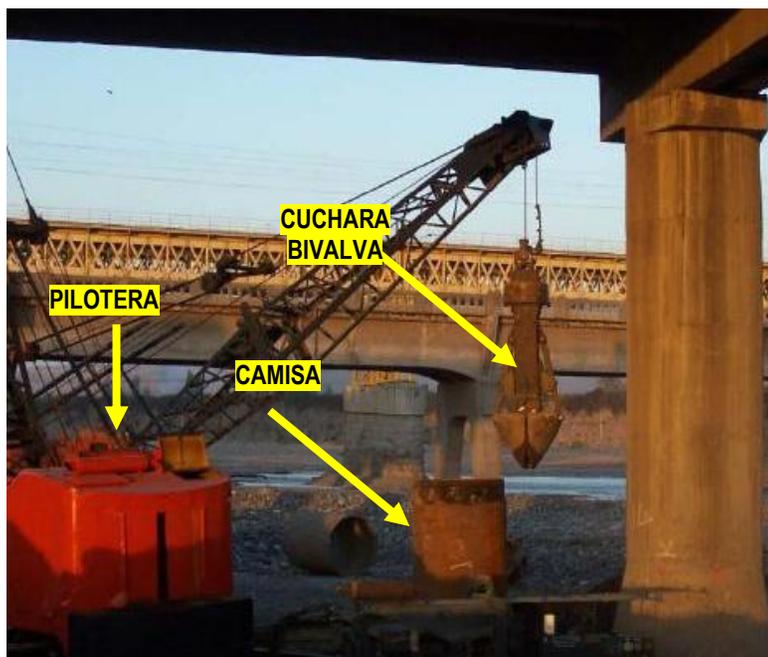


Figura 6.36: Perforación con cuchara bivalva (almeja) y camisa recuperable.

Fuente: Catálogo de Pilotes Terratest.

Características: Se puede alcanzar grandes longitudes con el cable que sujeta la cuchara bivalva (almeja).

Diámetros usuales: 1,0, 1,2 y 1,5 m.

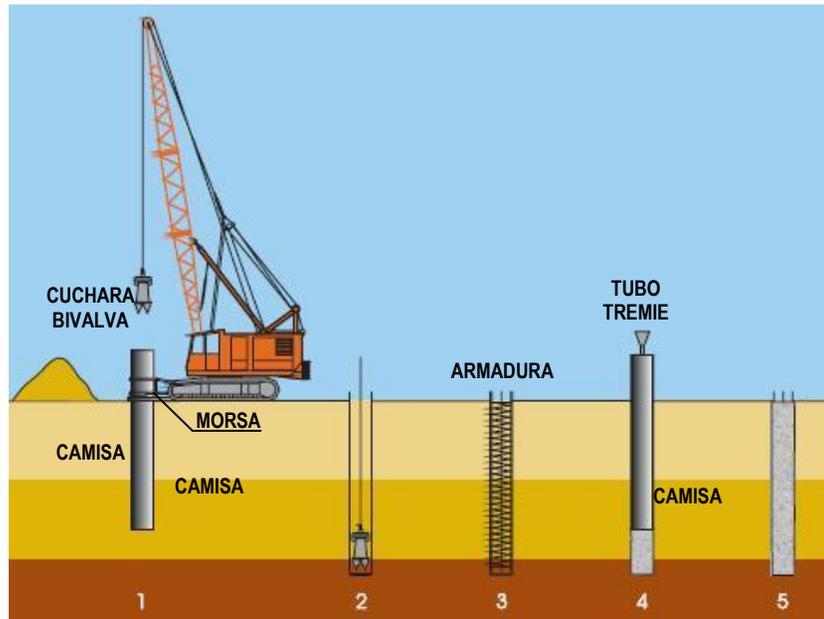


Figura 6.37: Esquema de perforación con almeja y entubación recuperable.

Fuente: Catálogo de Pilotes Terratest.

Descripción del Método.

1. Colocación e hincado de la camisa mediante entubadora (morsa), conteniendo la pared de la perforación.
2. Excavación con cuchara bivalva (almeja) y trépano simultáneamente.
3. Colocación de la armadura dentro de la camisa recuperable a través de izado.
4. Vaciado del hormigón usando tubo tremie y extracción de la camisa recuperable en forma simultánea.
5. Pilote terminado.

6.17 Pilote terminado.

Después de haber finalizado la etapa de excavación y hormigonado junto con el retiro de las camisas recuperables, aprobadas por el Inspector Fiscal, se debe esperar un mínimo de 7 días hasta que el hormigón fragüe, alcanzando la dureza, para realizar el descabezado y sin realizar operaciones aledañas al pilote en al menos 48 horas.

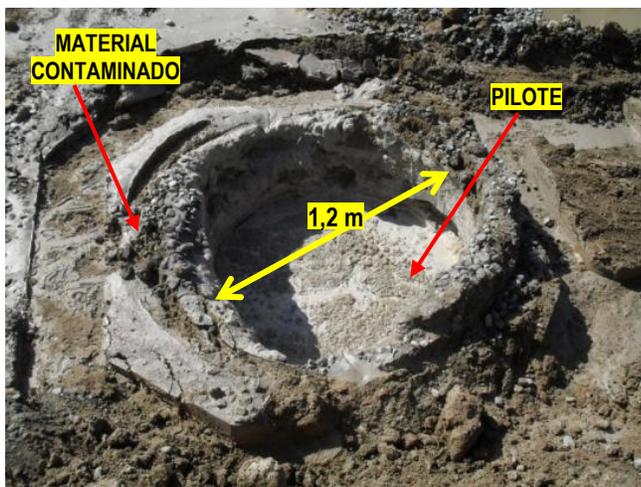


Figura 6.38: Pilote terminado.

Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Región Metropolitana. Elaboración propia.

6.18 Descabezado del pilote.

El descabezado del pilote debe realizarse según la Sección 5.509.302(4) a, Volumen 5 del Manual de Carreteras 2012.

Completada la construcción del pilote, se deberá excavar alrededor de éste, retirando el material granular, llegando entre 1,0 y 2,0 metros por debajo de la cabeza del pilote, para poder demoler la cabeza con el apoyo de un martillo demoledor y poder conectar la cabeza al dado de fundación.

En esta etapa es cuando también se realiza el ensayo de tipo no destructivo que puede ser de capacidad o integridad, según lo decida el M.O.P.

La excavación debe realizarse con una excavadora de tipo oruga, llegando a una profundidad de 3 metros aproximadamente, bajo la cota de la plataforma de trabajo y sin dañar la armadura del pilote, ya que si así fuese, la constructora deberá asumir los costos de reposición del pilote completo.

Antes de comenzar la demolición, se debe marcar con pintura roja la cota del pilote que será demolida. La etapa la debe realizar un operador usando un martillo demoledor (cango), hasta llegar a la marca realizada, dejando libre la armadura de empalme entre la cabeza del pilote y el dado de fundación de la cepa ó el estribo.

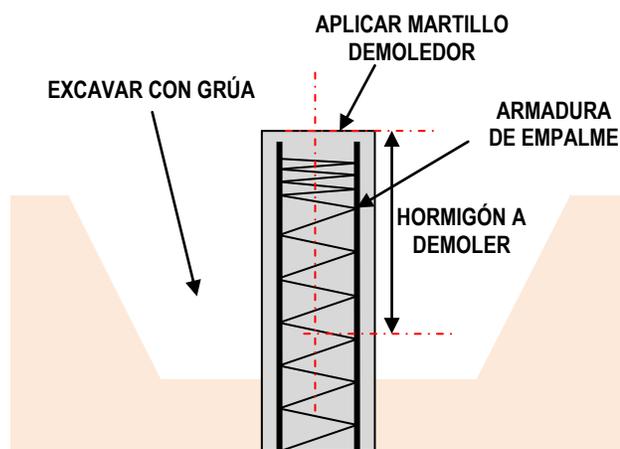


Figura 6.39: Descabezado del pilote.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el descabezado, se deberá esperar alrededor de una semana para coordinar la realización del ensayo no destructivo, con el que se confirmará el estado del pilote.

Finalmente se debe nivelar la cota de terreno, a la altura de la cabeza del pilote, donde se debe construir un emplantillado de 5 cm aproximadamente, cuando éste haya fraguado, se dará inicio a la construcción del dado, colocando una placa fenólica de alta intensidad que será usada como moldaje, para darle forma al dado, con un hormigón de la misma calidad que el pilote (H30 generalmente) y de manera tal que las barras de acero queden ancladas al dado de amarre de fundación.

Luego de haber fraguado el hormigón del dado de amarre de fundación, se debe poner un relleno estructural de 50 cm de espesor como mínimo, sobre la cota más alta del dado de fundación, material que debe ser permeable y tener calidad de material filtrante.



Figura 6.40: Excavación alrededor del pilote y retiro de material suelto en cepa.
Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Región Metropolitana. Asesoría Bogado.



Figura 6.41: Descabezado de pilotes de una cepa, usando martillo demoledor (cango).
Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Región Metropolitana. Asesoría Bogado.



Figura 6.42: Descabezado de pilotes en Puente Laja, Región del Maule.

Fuente: Puente Laja, Maule. MOP.

6.19 Ventajas y Desventajas en Pilotes Pre-excavados.

Ventajas:

- Menor costo en movilización de equipos de perforación.
- Menores vibraciones con respecto a construcción de pilotes hincados.
- Es posible verificar las condiciones geotécnicas del terreno.
- Se pueden proyectar y construir en grandes diámetros.
- Es posible cambiar la longitud del pilote según las condiciones del terreno.
- No hay dificultades por la presencia de bolones.

Desventajas:

- Flujos de agua pueden lavar el hormigón.
- No se genera mejora por densificación en el terreno circundante.
- Ensayos de carga son caros.
- El fondo de la excavación puede quedar significativamente contaminado con material suelto que se deformará por el peso aplicado del pilote sobre la cota de fundación del pilote.

CAPÍTULO VII

PROBLEMAS CONSTRUTIVOS Y SOLUCIONES

El objetivo de este capítulo, es conocer cuáles son los problemas más frecuentes en la construcción de pilotes y mostrar las respectivas soluciones para cada caso.

Los problemas más frecuentes en obra son:

1. Discontinuidad en la construcción del pilote.
2. Corte del pilote por filtración de napa artesiana.
3. Erosión superficial por falta de impermeabilidad de la isla.
4. Arrancamiento de la armadura por extracción de camisa abollada.
5. Estrangulamiento causado por desprendimientos internos dentro del pilote por retiro de la camisa.

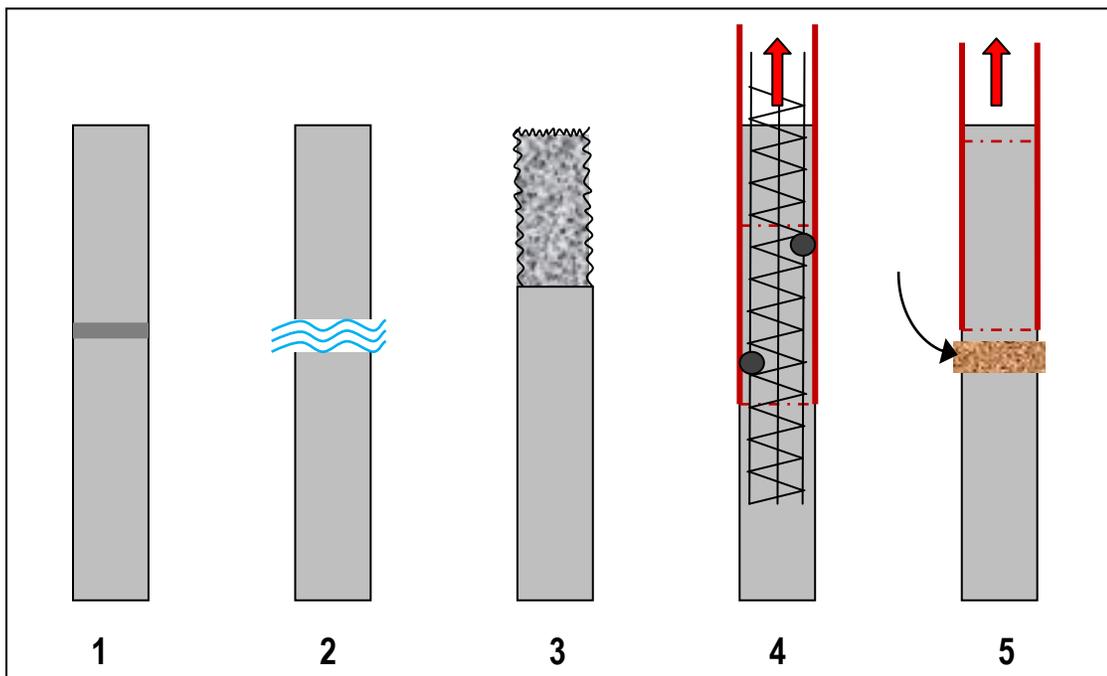


Figura 7.1: Problemas más frecuentes en construcción de pilotes.

Fuente: Elaboración propia, basado en apuntes de Jorge Campusano.

7.1 Discontinuidad en la construcción del pilote.

El pilote no termina de ser hormigonado por retraso del camión mixer, lo que implica que no se alcanza a realizar todo el vaciado para lograr el volumen que el pilote requiere.

El pilote pierde continuidad de hormigonado, lo que afecta la calidad del pilote y su homogeneidad, esto puede provocar el deslizamiento de suelo sobre el hormigón y hay que retirar el tubo tremie para que no quede embebido en el hormigón que comienza a endurecer.

En ese tipo de casos, se debe construir al lado un nuevo pilote y habrá que rediseñar la cepa ó el estribo afectado, modificar los planos estructurales para poder anclar la cabeza al dado de fundación y el comportamiento del pilote sea conforme al diseño original.

La solución, como medida de prevención, pasa por minimizar el tiempo del suministro del hormigón, teniendo todos los camiones con el volumen de hormigón requerido y confirmar el despacho correcto desde la planta hormigonera.

7.2 Corte del pilote por filtración de napa artesiana.

Durante el hormigonado y el retiro de la camisa recuperable, se produce un flujo de agua que afecta el hormigón del pilote, incrementando la relación agua / cemento y produciendo una agitación en las partículas de cemento que retrasan el fraguado del conjunto.

El hormigón pierde material fino, debido a la rápida entrada de agua que erosiona el cemento del hormigón fresco, lavando el árido, por lo que éste comienza a fraguar en forma retardada provocando una disminución en la sección del pilote por debajo del hormigón superior, que está protegido por la camisa en ese instante y que puede iniciar su fraguado.

La solución en este caso, es colocar una camisa perdida (figura 7.2), que impida el flujo de agua hacia el pilote.

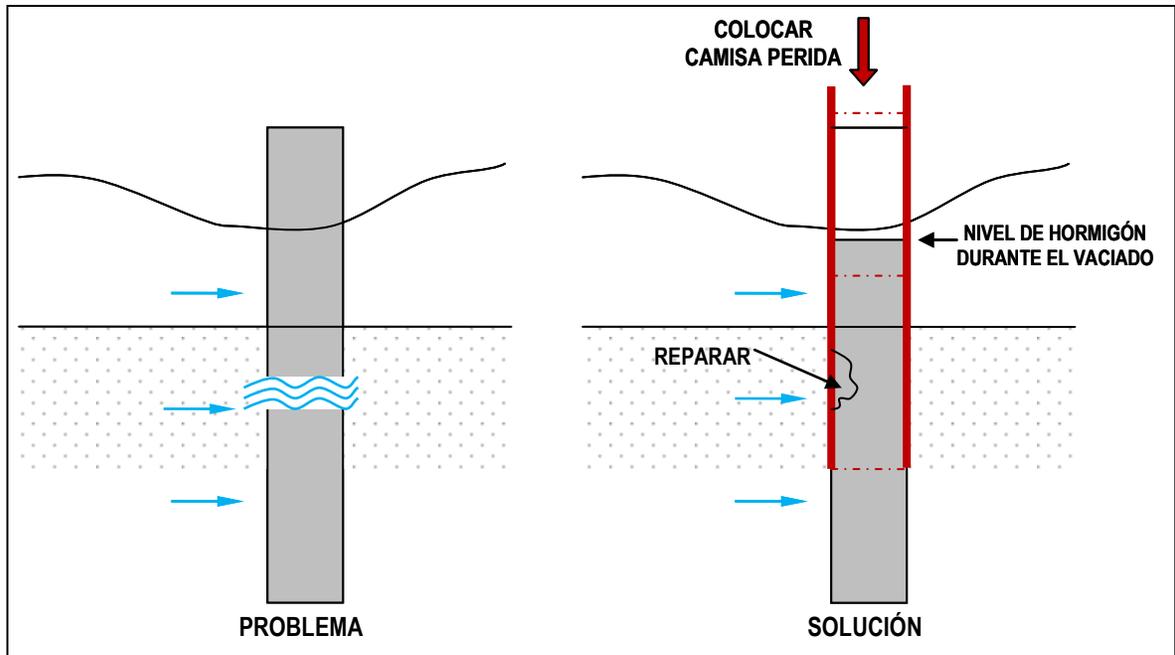


Figura 7.2: Problema durante la construcción de pilotes por filtración de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Si el problema se detecta después de haber realizado el pilote, la solución es construir un pilote nuevo con camisa perdida y redimensionar el dado de fundación.

7.3 Erosión superficial por falta de impermeabilidad de la isla.

En este caso, el pilote sufre un lavado de agua que escurre directamente del río, y arrastra los sedimentos y con ello comienza a erosionar el hormigón fresco.

En estos casos la cabeza del pilote se ve dañada y la solución al igual que en el caso anterior es dejar una camisa perdida.

7.4 Arrancamiento de la armadura por extracción de camisa abollada.

Este problema se da por falta de autocontrol e inspección de las camisas, las que deben estar limpias y sin abolladuras antes de ser hincadas, la prevención del problema, pasa por hacer una extracción de camisas de forma lenta y cuidadosa, de modo de evitar que la armadura se atasque en la camisa.

Si es que esto pasara, se debe construir un pilote nuevo, en el que el contratista reponga el pilote, asumiendo los costos y redimensionando el dado de fundación por parte del calculista.

7.5 Estrangulamiento causado por desprendimientos internos dentro del pilote por retiro de camisa.

El problema se debe a que al retirar la camisa, ésta pasa a llevar material del suelo que cae dentro del hormigón y que no fluye con el material contaminado.

El material que queda expuesto a derrumbe o desprendimientos del suelo dentro de la perforación, es debido que al sacar las barrenas (hélices) de forma rápida y con una excesiva rotación pasan a llevar el terreno, reduciendo la fricción entre las partículas del suelo que conforman la pared de la excavación.

En estos casos la prevención del problema pasa por hacer un hincado de la camisa no forzado, si es que el terreno no lo permite, hacer uso de las herramientas de perforación como corresponden, evitando realizar más de 6 o 7 giros por metro lineal de avance en la excavación, siendo ideal 4 giros por metro de avance, controlando y evitando la caída de fragmentos de suelo desde la superficie de trabajo con una correcta limpieza del fondo e inspección de la perforación durante el vaciado del hormigón. Además de hacer un retiro de camisa en forma lenta y cuidadosa.

CAPÍTULO VIII

ENSAYOS DE CAPACIDAD E INTEGRIDAD

Una vez terminado el pilote se deberá esperar aproximadamente un mes, para realizar la excavación y el descabezamiento, cuando esta etapa esté concluida, se deberá realizar un ensayo de tipo no destructivo que puede ser por capacidad ó integridad.

Estos ensayos deben permitir la instalación del equipo en terreno y el acceso de los ensayistas.

El Ensayo por Capacidad, se basa en los resultados obtenidos por aplicación de carga estática ó dinámica y el Ensayo de Integridad se basa en los resultados obtenidos, debido a la aplicación de baja energía que genera pequeñas tensiones, éste último ensayo es actualmente el más usado en Chile y dura mucho menos que un Ensayo por Capacidad.

El ensayo PIT (*Pile Integrity Test*) o ensayo de integridad de un pilote, es el ensayo más realizado, ya que es un ensayo fácil de realizar y tiene un costo muy por debajo con respecto a los otros ensayos, explicados a continuación.

8.1 Ensayo de capacidad por carga estática.

El objetivo de este ensayo es determinar cuál es la capacidad máxima de resistencia de carga de un pilote. Actualmente los ensayos por capacidad de carga estática usados frecuentemente son:

- Ensayo de Carga por Mantenimiento (MLT)
- Ensayo de Penetración a Razón Constante (CRP)

8.1.1 Ensayo de carga por mantenimiento MLT (*Maintained Load Test*).

En este ensayo, la carga es aplicada al pilote con distintos escalones de carga o ciclo de carga y descarga, sometiéndolo a esfuerzos de 1,5 a 2,0 veces superiores a los esfuerzos de proyecto, esfuerzos que son transmitidos mediante la presión de una gata hidráulica, provocando un pequeño asentamiento controlado en el tiempo y medidos en la cabeza del pilote que está descrito por la curva relación carga/asentamiento (figura 8.1).

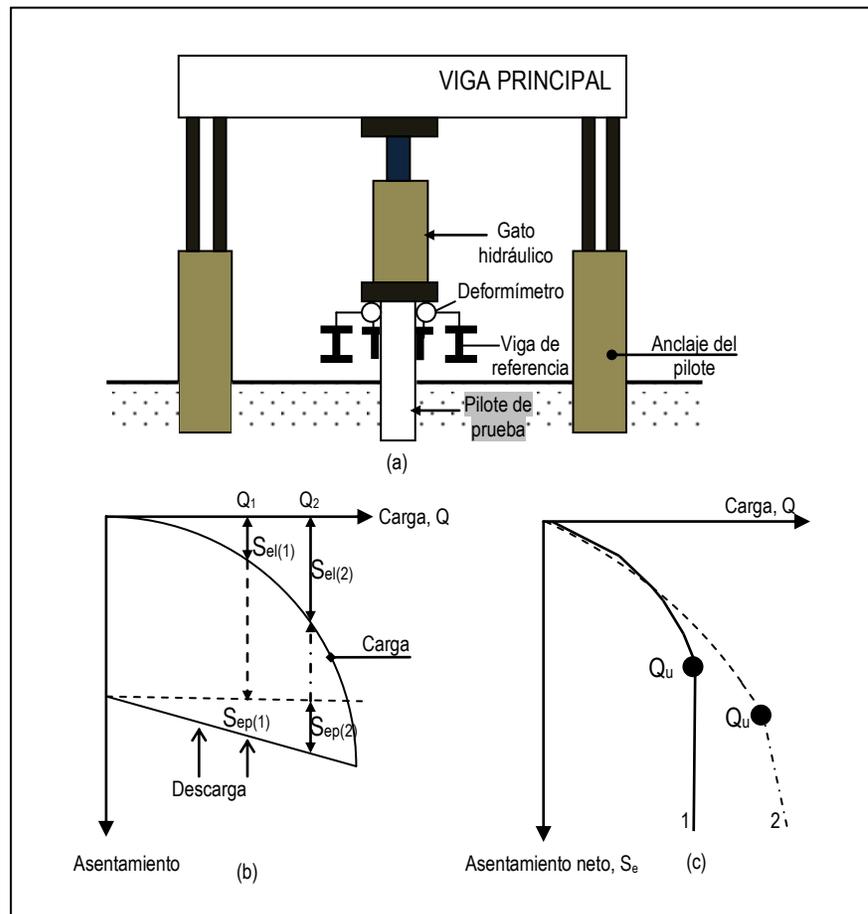


Figura 8.1: Esquema y gráfico de ensayo de carga y descarga v/s asentamiento.

Fuente: Principio de Cimentaciones, Braja, Das.

Se puede observar en la figura 8.1 que a medida que aumenta la carga, también aumenta el asentamiento del pilote.

El ensayo no es invasivo, dura por lo general entre 24 y 48 horas, sin considerar el montaje y el desmontaje de los equipos y pueden llegar a costar hasta un 10% aproximadamente de la construcción de un pilote.

El ensayo realizado consta de una serie de vigas y barras acopladas, como se puede observar en la figura 8.2.

Dos de estas vigas se colocan en perpendicular sobre una viga principal que tiene debajo un dispositivo (gato hidráulico) que ejerce la presión sobre la cabeza del pilote y verifica si es capaz de soportar las cargas impuestas por compresión. Carga que se limita a un 50% de la carga de diseño, siendo uno de los métodos más confiables, debido a que la relación carga/asentamiento muestra una capacidad del pilote de 1,5 veces su condición por trabajo de carga, sin embargo debido al montaje, resulta ser uno de los ensayos más caros.

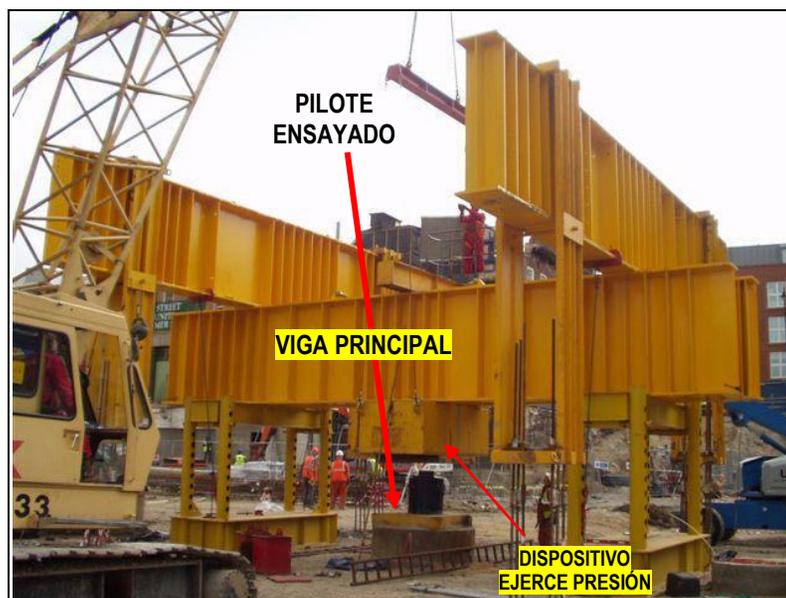


Figura 8.2: Ensayo de capacidad.

Fuente: Federation of Piling Specialists.

Los criterios aceptados serán para un asentamiento máximo de 10 mm, para pilotes de 1,0 m de diámetro, durante el ensayo de carga más el acortamiento que se produce debido a la elasticidad del hormigón y para pilotes con diámetros mayores a 1,0 m, se acepta un poco más de 10 mm de asentamiento.

8.1.2 Ensayo de penetración a razón constante CRP (*Constant Rate of Penetration Test*).

Es un ensayo no invasivo que se realiza con una penetración a razón constante en el suelo, considerando la carga máxima especificada para la realización del ensayo, la cual debe ser supervisada por un especialista en terreno. La penetración del pilote debido a la carga aplicada, es representada de manera tal de determinar la capacidad de carga última del pilote, donde se puede ver la resistencia por fricción debido a la cohesión del suelo y su interacción con el pilote.

Para la realización de este ensayo se disponen alrededor del pilote in-situ una serie de pilotes de reacción anclados al terreno y conectados con barras de acero a un dispositivo hidráulico que ejerce presión sobre la cabeza del pilote (figura 8.3)

Para la interpretación de datos, el especialista a cargo deberá tener conocimiento de las dimensiones del pilote (largo y diámetro).



Figura 8.3: Ensayo de carga estática vertical a compresión.

Fuente: Pilotes Terratest.

8.2 Ensayo de capacidad por carga dinámica.

8.2.1 Ensayo de carga dinámica PDA (*Pile Driving Analyzer*).

Es un ensayo no destructivo, que resulta ser caro por el traslado de los equipos, realizado generalmente a pilotes hincados, donde se deja caer de golpe una masa o martillo produciendo un alto impacto, lo que permite obtener la capacidad de carga del pilote, integridad, la resistencia a lo largo del fuste y la punta del pilote. El impacto producido permite generar los registros de fuerza y velocidad, resultados que se pueden ver en el display y posteriormente en el computador para realizar el análisis con los datos obtenidos de la interacción de suelo – pilote, obteniendo la razón carga/asentamiento.

La carga aplicada por el martillo es bien alta y su calibración depende del tipo de suelo donde se encuentre fundado el pilote. El ensayo no dura más de 15 minutos y la caída del martillo dura 1 segundo, pero también como el resto de los ensayos el montaje dura una 1 hora a lo menos.



Figura 8.4: Ensayo PDA.

Fuente: TRX Consulting, youtube.com

8.3 Criterios para realizar los ensayos de carga.

8.3.1 Para realizar ensayos de carga es necesario:

- Contar con el tiempo suficiente para desarrollar el ensayo un día completo y obtener los resultados al día siguiente.
- Tener definido el método con antelación, que se utilizará para realizar el ensayo.
- Control de seguridad sobre las personas a cargo del profesional de seguridad.
- Tener claro los criterios en terreno.
- Realizar un control de calidad.
- Comenzar el ensayo a las 6:00 de la mañana para aprovechar la luz del día.

8.3.2 Preparación y mantenimiento del área de ensayo.

- La zona que rodea el pilote debe estar libre de residuos.
- Las dimensiones del pilote deben ser las mismas que las especificadas en el plano, ya que se debe apoyar el equipo sobre la cabeza del pilote y tener un adecuado acceso para los operarios.
- Se debe monitorear de forma previa el terreno, ya que si hay plantas funcionando cerca del sector se puede descalibrar el equipo, alterando los resultados y arrojando muestras falsas o erróneas.
- No realizar excavaciones cercanas a la zona, ya que esto alteraría la muestra.
- Debe haber una iluminación adecuada durante la realización del ensayo.
- Frente a cualquier eventualidad, el técnico que realiza el ensayo debe tener un teléfono para comunicarse.

8.4 Ensayo de integridad para pilotos.

También conocido como Ensayo de baja tensión dinámica, Ensayo eco sonoro y como Ensayo de tensión de baja de integridad. Es un ensayo rentable de corta duración, en la que el operador se demora 15 minutos por pilote aproximadamente.

Los ensayos de Integridad son:

- Transparencia Sónica
- Impedancia Mecánica (PIT).
- Sondeo Sónico a lo largo del Pilote.

8.4.1 Transparencia sónica.

El objetivo de este ensayo es detectar posibles daños que afecten al pilote, como por ejemplo:

- Alteraciones en su geometría por bolsones de bentonita.
- Discontinuidad en el vaciado del hormigón.

Tabla 8.1: Calidad del hormigón en ensayos no destructivos por velocidad de ultrasonido.

| Velocidad ultrasonido | Calidad del hormigón |
|-----------------------|----------------------|
| >4.600 | Excelente |
| 3.700 – 4.600 | Generalmente Buena |
| 3.000 – 3700 | Dudosa |
| 2.100 – 3.000 | Generalmente Pobre |
| < 2100 | Muy Pobre |

Fuente: Apuntes Jorge Campusano.

8.4.2 Impedancia mecánica o Ensayo por eco reflexión PIT (*Pile Integrity Test*).

El objetivo de este ensayo es aplicar varios impactos en la cabeza del pilote con un martillo plástico duro en la zona de golpe (figura 8.7), permitiendo saber si el pilote es integro.

El ensayo permite medir:

- Longitud del pilote.
- Diámetro del pilote.
- Homogeneidad.

Es un método de baja deformación que utiliza la propagación de onda unidimensional. Para ello se utiliza un pequeño martillo de 500 g ó 1400 g, con el cual se golpea la cabeza del pilote sin ejercer fuerza, realizando 4 pulsos por punto. Al realizar el golpe se genera una carga de baja compresión que a su vez genera una onda de sonido que parte en la cabeza del pilote, llega hasta el sello de fundación y después se devuelve, la onda es medida por los sensores conectados a la cabeza del pilote a través de una masilla. El resultado arroja una velocidad de onda cercana a los 4.000 m/s, a través de una gráfica en el display y que indica si el pilote es integro.

El dispositivo es un acelerómetro que va conectado a unos geófonos que están colocados en la parte superior del pilote. Luego la entrega de datos es almacenada para su pronta interpretación.

Para realizar este ensayo hay que tener presente que después del descabezado:

- El pilote debe ser cortado y pulido con un esmeril en la cabeza del pilote.
- El técnico debe tener un acceso seguro a la cabeza del pilote.
- La cabeza del pilote debe estar libre de agua estancada.
- Tener la superficie de ensayo limpia, seca y lisa.

El operador debe ser capaz de demostrar su competencia y comprensión de los ensayos teniendo claro las limitaciones de éste y como se pueden ver afectados los resultados. Además debe ser capaz de explicar los resultados obtenidos a terceros y relacionarlos con el diseño del pilote, de manera tal que pueda dar conocimiento de alguna eventualidad.



Figura 8.5: Operador realizando ensayo de integridad PIT.
Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Elaboración propia.



Figura 8.6: Operador realizando ensayo de integridad PIT.
Fuente: Puente Ranchillo, María Pinto, Elaboración propia.



Figura 8.7: Equipo PIT.

Fuente: Elaboración propia.

Antes de realizar el ensayo, hay que ingresar como datos de entrada, el nombre del proyecto, el número del pilote, el diámetro, el largo del pilote y el peso del martillo, como se puede observar en la figura 8.8.

El software con el que se realiza el análisis del pilote, permite obtener el perfil del pilote en toda su longitud.

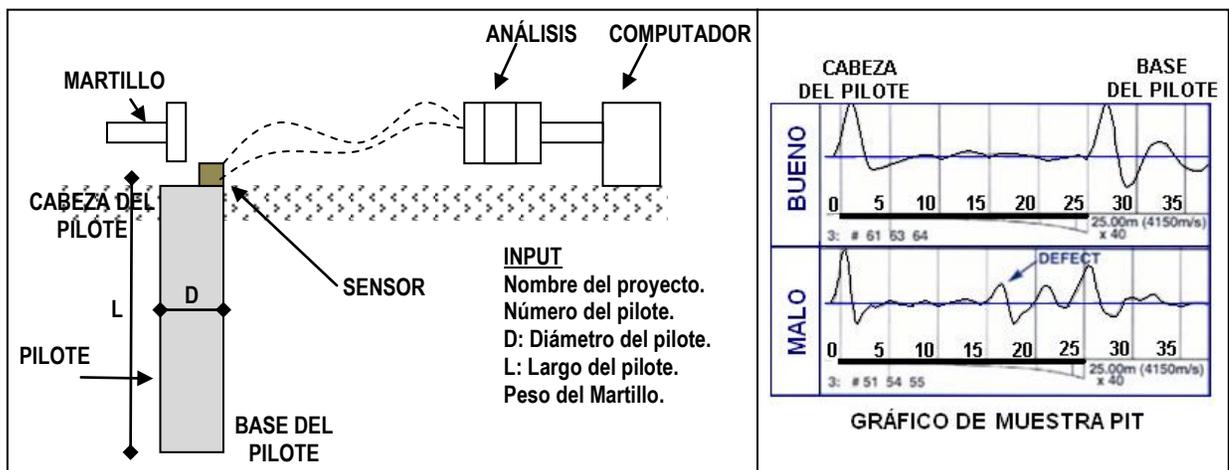


Figura 8.8: Esquema de realización del ensayo PIT.

Fuente: Elaboración propia, basado en Pile Design, Ruwan Rajapakse y gsp-mannheim.de.

8.4.3 Sondeo sónico a lo largo del pilote (*Cross Hole, CSL*).

También llamado *Cross Sonic Logger (CSL)*. El objetivo de este ensayo es realizar un seguimiento a lo largo del pilote midiendo el tiempo que demora la onda en propagarse desde el emisor al receptor, ubicados en posiciones conocidas debido a la presión ejercida por el emisor.

Para este ensayo se debe conocer:

- La separación entre el emisor y el receptor.
- El tiempo que demora el tren de ondas en propagarse.
- Las características de los materiales del pilote.

Para la realización de este ensayo se introducen unos 4 ó 7 tubos dispuestos según el diámetro del pilote que son rellanados con agua y colocados dentro del hormigón. Dentro de los tubos se instalan unas sondas que recorren toda la longitud del pilote, cuando el hormigón alcanza su dureza las sondas se izan en conjunto, produciendo un pulso de alta frecuencia que produce un tren de ondas verticales. Estas ondas son registradas por el equipo, permitiendo determinar la calidad y homogeneidad del pilote por magnitud de onda a cualquier profundidad.

Al finalizar el ensayo, se debe retirar el agua de los tubos, los cuales deben ser llenados con una mezcla de lechada, aprobada por el Inspector Fiscal.



Figura 8.9: Armadura con tubos para sondeo sónico (*Cross Hole*).

Fuente: Apuntes Profesor Marcelo Márquez.

CAPÍTULO IX

CASO APLICADO, CÁLCULO DE PRESUPUESTO Y RENDIMIENTO

El pago de pilotes pre-excavados se hará de acuerdo con el precio unitario del contrato y deberá incluir todos los costos relacionados con la excavación, retiro, cargue, transporte y disposición del material proveniente de la excavación, suministros de materiales, mano de obra, instalación y remoción de las camisas temporales; así como la provisión de todos los equipos necesarios para la construcción de los pilotes de acuerdo a los planos y especificaciones técnicas.

El precio unitario de los pilotes pre-excavados está contemplado dentro del ítem de infraestructura y deberá incluir el precio de los materiales, mano de obra, equipos y maquinarias, involucrando gran parte del presupuesto de la infraestructura.

Para determinar el presupuesto de la construcción del pilote, se deberá tener en cuenta las horas hombre por trabajador, las que corresponden a 8 horas laborales diariamente.

A continuación se presenta un ejemplo de análisis de precio unitario para pilotes pre-excavados (ver tabla 9.1).

9.1 Precio unitario pilote pre-excavado (In Situ).

El siguiente caso está basado en el Puente Santa Marta, ubicado en la Ruta E-253, Provincia de Petorca, Región de Valparaíso. Proyecto que considera la construcción de un puente de carretera de aproximadamente 247 metros de longitud, de siete tramos y la construcción de obras complementarias, con un presupuesto oficial de \$ 3.282.674 pesos y adjudicado al contrato de Consorcio Remavesa – Copcisa. Sin embargo, el ítem Pilotes Pre-excavados (In – Situ), figura 9.1, muestra el costo monetario por pilote un poco más alto al ítem real, ya que se consideró una cantidad de acero más alta (150), en comparación a lo que realmente se hizo en el proyecto Santa Marta (110), con el objetivo de generalizar los costos.

Al no poder obtener los antecedentes del contacto del Puente Santa Marta, se consideraron las condiciones del Puente Ranchillo, ubicado en la Comuna de María Pinto, Región Metropolitana. Proyecto adjudicado a SALFA que contempla la construcción de 2 puentes de hormigón de 47.2 y 13.4 m de longitud, con un presupuesto oficial de \$ 1.324.814.232 pesos.

En este caso la solución adoptada fue realizar una excavación con camisa recuperable con pilotera Bauer BG – 24 H con gasto realizado por metro cúbico excavado, usando hélice, barril excavador y hormigonado con tubo tremie para la construcción de 3 pilotes de 1,2 metros de diámetro y 20 metros de largo cada uno, de hormigón H30 con un cono de asentamiento de 18 cm y un canasto de acero A63-42H con amarra de alambre negro N°18 y distanciadores cada 150 cm a lo largo de la malla.

Maestros y jornales se consideraron por hora diría trabajada y la maquinaria utilizada fue considerada por hora, excepto la pilotera.

Gastos Generales = 40% * Costo directo total del pilote (\$ 416.426 pesos) = \$ 166.570.

Utilidades = 15% * Costo directo total del pilote (\$ 416.426 pesos) = \$ 62.464.

Precio unitario ítem = Suma de Subtotales + Gastos generales + Utilidades.

Costo total ítem = Precio unitario ítem * N° pilotes * Volumen de cada pilote.

Tabla 9.1: Ejemplo de Presupuesto de un pilote pre-excavado.

| CÓDIGO | NOMBRE | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
|--|---|----------------|----------|-----------------|--------------------|
| | | | (a) | (b) | (a*b) |
| PRECIO UNITARIO PILOTE PRE-EXCAVADO (IN SITU) | | | | | |
| MATERIALES | | | | | |
| MME200 | Acero A63-42H | kg | 150,000 | 470 | 70.500 |
| PH30 | Hormigón H-30/18 | m3 | 1,100 | 74.587 | 82.046 |
| MSOL6011 | Soldadura E 6011 | kg | 0,1 | 3.175 | 318 |
| MME425 | Alambre negro #18 | kg | 1,375 | 963 | 1.324 |
| MPSIE1 | Petróleo Diesel | lt | 1 | 620 | 620 |
| | Subtotal Materiales (\$) | | | | 154.187 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| O140 | Maestro Enfierrador | hd | 0,486 | 14.000 | 6.804 |
| O240 | Ayudante Enfierrador | hd | 0,486 | 10.600 | 5.152 |
| O100 | Maestro Hormigón | hd | 0,074 | 13.500 | 999 |
| O300 | Jornal Hormigón | hd | 0,074 | 9.500 | 703 |
| O% | Leyes Sociales | % | | 55 | 7.508 |
| | Subtotal Mano de Obra (\$) | | | | 21.166 |
| EQUIPOS Y MAQUINARIA | | | | | |
| PMA920 | Motosoldadora Robbins | día | 0,014 | 105.720 | 1.480 |
| EPILO02 | Equipo de Trépano | hr | 0,086 | 150.000 | 12.900 |
| EPILO01 | Máquina Pilotera | m ³ | 0,969 | 145.000 | 140.505 |
| PMA188 | Camión Tolva 10 m ³ | hr | 2,664 | 22.093 | 58.856 |
| PMA030 | Excavadora 20 ton | hr | 0,887 | 29.743 | 26.382 |
| PMA060 | Retroexcavadora | hr | 0,054 | 17.593 | 950 |
| | Subtotal Equipos y Maquinaria (\$) | | | | 241.073 |
| | Costo Directo, Total (\$) | | | | 416.426 |
| | Gastos Generales | | | 40% | 166.570 |
| | Utilidades | | | 15% | 62.464 |
| | Precio Unitario Ítem (PUI) | | | | 645.460 |
| | Costo Total Ítem = PUI * f | m3 | 272,000 | 645.460 | 175.565.126 |
| f = N° Pilotes * Volumen Pilote | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

9.2 Tiempos de construcción y operación en obra.

Éstos serán aproximadamente:

| | | |
|--------------------------------|-----------|---|
| Pilotes Pre-excavados | 1 mes | Tiempo de construcción de 1 cepa. |
| Pilotería | 2 semanas | Tiempo de operación y ubicación en obra. |
| Excavación | 2 horas | Tiempo de perforación por pilote. |
| Camión tolva 10 m ³ | 1 hora | Tiempo de carga por material extraído por pilote. |
| Canasto o Armadura | 2 semanas | Tiempo de construcción de un canasto. |
| Hormigón para pilotes | 1 hora | Tiempo de vaciado por pilote. |

El volumen de hormigón para un pilote de un diámetro de 1,2 metros y una altura de 20 metros es:

$$V_{\text{pilote}} = \pi * (1,2/2)^2 * 20 = 22,62 \text{ m}^3$$

| | |
|--------------------|--|
| Camión Mixer | 3 Camiones de 7,5 m ³ cada uno. |
| Pilotería | 1 Bauer BG-24 H. |
| Operador Pilotería | 1 Operador. |
| Jornales | 3 |
| Ingenieros | 2 |

La duración de vaciado es de 160 minutos (2,67 horas ó 2 horas y 40 minutos), por lo tanto el rendimiento por hora de vaciado será:

$$R = \frac{\text{Volumen de vaciado}}{\text{Duración de vaciado}} = \frac{22,62 \text{ m}^3}{2,67 \text{ hrs}} = 8,47 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Se deben ajustar estas estimaciones al número de pilotes, largo y diámetro en cepas y estribos de acuerdo a cada proyecto.

CAPÍTULO X

CONCLUSIONES

El método constructivo en pilotes dependerá del tipo de suelo de fundación, de los resultados geotécnicos, de las condiciones de la obra y los costos asociados por parte del contratista.

La disponibilidad de la máquina pilotera es fundamental en este tipo de operaciones, por lo que el contratista debe coordinar con anticipación el plan de acción con la empresa pilotera, para no sufrir retrasos y complicaciones que pongan en riesgo la viabilidad del proyecto.

La solución de excavación para la construcción de pilotes más usada en Chile, es el método de perforaciones con camisa recuperable, con el apoyo de hélice y barril excavador para limpiar el fondo de la base del pilote.

Las camisas perdidas siempre serán una muy buena solución cuando el terreno tenga demasiada exposición a napas artesianas, lo que encarece el proyecto.

La excavación de pilotes que requiere un mayor costo es la que se realiza con lodos bentoníticos, ya que se deben construir piscinas de almacenamiento para el fluido, que involucran grandes cantidades de movimiento de tierra, como también la adquisición de la bentonita en el mercado, la que viene en sacos de 40 kg cada uno.

Los pilotes pre-excavados son recomendados en los puentes carreteros debido a que resisten muy bien la carga que transmiten al suelo y su comportamiento elástico es dúctil en el encuentro con el dado de fundación.

Los pilotes serán usados cuando la capacidad del suelo superficial no sea suficiente para transmitir las cargas de la fundación.

En suelos que contengan gravas es altamente probable encontrar bolones en la excavación, por lo que es recomendable, tener siempre todas las herramientas de perforación disponibles en obra, como trépano y cuchara bivalva (almeja).

Las herramientas de perforación utilizadas pueden dañarse durante la excavación, debido a lo imprevisible que son los estratos del suelo, por lo que es siempre recomendable tener más de una herramienta de perforación en la instalación de faena, para no enfrentar retrasos en la obra.

El ensayo más utilizado en pilotes pre-excavados, es el de impedancia mecánica o eco reflexión (conocido como PIT), debido a que es un ensayo fácil de montar que no requiere más de 20 minutos por pilote, por ende también es el más barato y los resultados siempre son claros.

En la construcción de armaduras, siempre será importante colocar atiesadores, sujetadores y zetas de rigidez, que queden embebidos en el hormigón, para evitar que la armadura por su propio peso sufra deformaciones durante el izado y montaje.

La mitad del pilote superior requerirá más armadura, debido a que en el encuentro de la cabeza con el dado, es donde se producen las mayores deflexiones y concentración de esfuerzos, por la transmisión de carga desde la elevación al dado.

Las excavaciones en el terreno se deberán siempre realizar en forma alternada en una cepa ó estribo, ya que se puede conocer la calidad de los estratos del suelo en el primer pilote excavado, que corresponde al que recibe menos sollicitación de carga durante un sismo.

Debido a la fluidez que tiene el hormigón, el tubo tremie es una muy buena herramienta de vaciado ya que se puede alcanzar la cota de fundación del pilote de manera controlada y a la altura de 1,5 metros como lo exige el Manual de Carreteras 2012.

La ventaja del pilote pre-excavado es que el suelo puede ser inspeccionado durante la excavación, afectando pocas veces la verticalidad de la excavación.

Es frecuente ver en la construcción de pilotes que la cantidad de barras longitudinales corresponden a más del 1% de la cuantía. Condición que no le resta capacidad al pilote ya que se acepta también el 2% y la AASHTO acepta hasta 6% de la cuantía, siempre y cuando ésta sea debidamente justificada en la memoria de cálculo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dirección de Vialidad – Ministerio de Obras Públicas – Manual de Carreteras, Volumen N°3 y N°5.

Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das.

Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M., Das.

Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo Villalaz.

Standard Specifications for Highway Bridges, 1996 de AASHTO.

Apuntes Construcción de Puentes, Profesor Marcelo Márquez Marambio, Director Regional de Vialidad del Maule.

Construcción de Fundaciones Profundas en Puentes Viales, Jorge Campusano Osorio, Jefe del Departamento de Puentes, MOP. Santiago de Chile 2010.

Puentes para Chile 2020, Dirección de Vialidad, MOP. Santiago de Chile 2009.

Norma ACI 318-05 (American Concrete Institute del año 2005), capítulos que contemplan y hagan referencia a fundaciones tipo profundas y sus criterios.

Dirección de Vialidad – Ministerio de Obras Públicas – Informe Final Reparación de Emergencia Puente Juan Pablo II.

Dirección de Vialidad – Ministerio de Obras Públicas - Informe Final Reparación de Emergencia Puente Llacolén.

Nuevos Criterios Sísmicos Para el Diseño de Puentes en Chile – MOP.

Ingeniería de Cimentaciones, Ralph B. Peck, Walter E. Hanson y Thomas H. Thornburn, Editorial LIMUSA.

Catálogo Pilotes Terratest, Pilotes In Situ. Terratest Cimentaciones.

Tratado de Construcción, Heinrich Schmitt. 7a. ed. ampliada y revisada.

Manual de Diseño de Superestructuras de Acero para Puentes / Corporación Instituto Chileno del Acero. Instituto Chileno del Acero. Santiago, Chile: La Corporación, 2008.

Documento Básico SE-C Cimientos, Capítulo 5, Cimentaciones Profundas.

Encepados, CPE 1978. España.

Estructuras de Contención o anclaje, Capítulo 14.

Guía de Cimentaciones en Obras Carreteras. Gobierno de España, Serie Monografías.

Cimentaciones Profundas, Jorge Alba Hurtado. PhD.

Handbook on Load Testing, Federation of Piling Specialist.

Terremoto de Chile del 27 de Febrero del 2010 Mw = 8.8, G. Rodolfo Saragoni, Universidad de Chile.

Singularidades Estructurales, Charla Colegio de Arquitectos de Chile, Fernando Yañez, Director IDIEM.

Glosario de Términos de REPSOL, Perú.

Bauer BG 24 H, Rotary Drilling Rig, 2011, Germany.

Puente Caballo Blanco, Constructora Lambda Ltda. Talca 2007.

Puente Ranchillo, Constructora SALFA, María Pinto 2012, Región Metropolitana.

Plataforma Arquitectura, Ready mix, Hormigón fluido.

Pontibus, Manuel Carracedo, Santiago de Chile, 1994.

Pavimentos Industriales, Diseño y Construcción, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón. Santiago de Chile, 1987.

Diseño de Pavimentos de Hormigón, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón. Dujan Dujisin. Santiago de Chile, 1985.

Manual del Hormigón, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Santiago de Chile, 1984.

Problemas de Ejecución en Pilotes Perforados. Causas y Soluciones. (1° y 2° Parte). David Núñez Becerra. Técnicas de Cimentación. Revista Obras Urbanas. Octubre 2010.

Hormigones con Tiempo de Viaje, Ficha de Producto, melón.cl

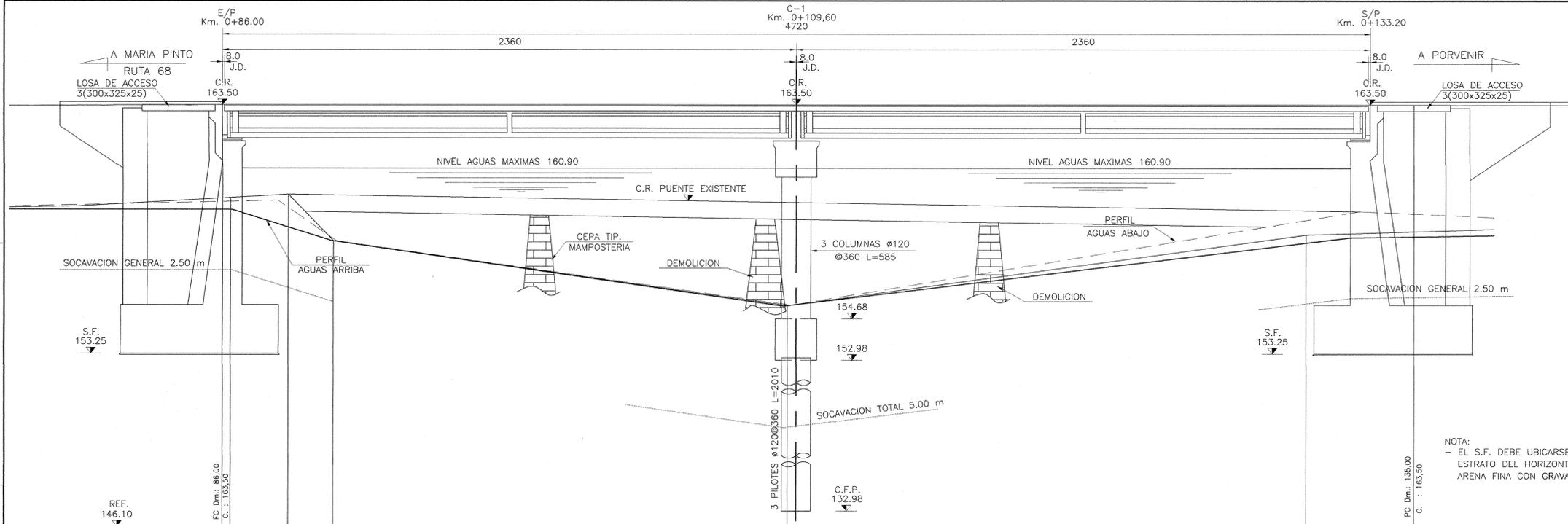
Pile Integrity Tester Specifications, GSP Klein, año 2012.

www.gsp-mannheim.de/pdfs/PIT%204S%20X%20GSP_klein.pdf.

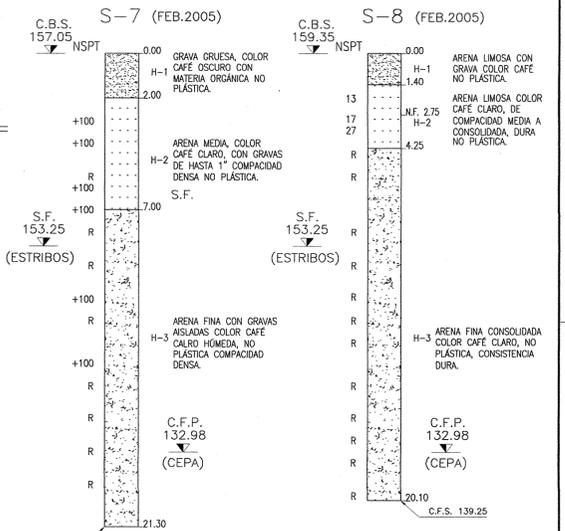
Construcción Puente Santa Marta, Servicios.vialidad.cl/licitaciones. Noviembre 2011.

Ficha Licitación N° 5048-127-LP11, Asesoría a Inspección Fiscal Construcción Puente Santa Marta en Ruta E-253, Provincia de Petorca, Región de Valparaíso. Mercadopublico.cl, Julio 2012.

ANEXOS



| GRAD. Y PEND. | 0,000% 49,00m | | | | |
|---------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| COTAS | RASANTE | 163.50 | 163.50 | 163.50 | 163.50 |
| | TERRENO | 159.89 | 159.82 | 157.90 | 155.22 |
| | DIST. ACUM. | 86.33 | 88.70 | 90.55 | 109.24 |
| | KILOMETRAJE | | | | 130.58 |



ESPECIFICACIONES TECNICAS

- 1.- MATERIALES
 - 1.1- HORMIGONES

| | |
|----------------------------------|------|
| ESTRIBOS, CEPAS, COLUMNAS Y LOSA | H-30 |
| PILOTES PREEXCAVADOS | H-30 |
| VIGAS PRETENSADAS | H-40 |
| EMPLANTILLADO | H-10 |
 - 1.2- ACEROS

| | |
|------------------------|---------------|
| EN BARRA | A63-42H |
| ESTRUCTURAL (BARANDAS) | A42-27ES |
| ANCLAJES, BARRAS | A44-28H |
| POSTENSADO | GRADO 270 KSI |
 - 1.3- PAVIMENTO ASFÁLTICO
 - 1.4- PLACAS DE APOYO NEOPRENE DUREZA 60° SHORE "A"
- 2.- CARGA DE DISEÑO AASHTO HS 20-44+20% 2002
- 3.- RECUBRIMIENTOS:

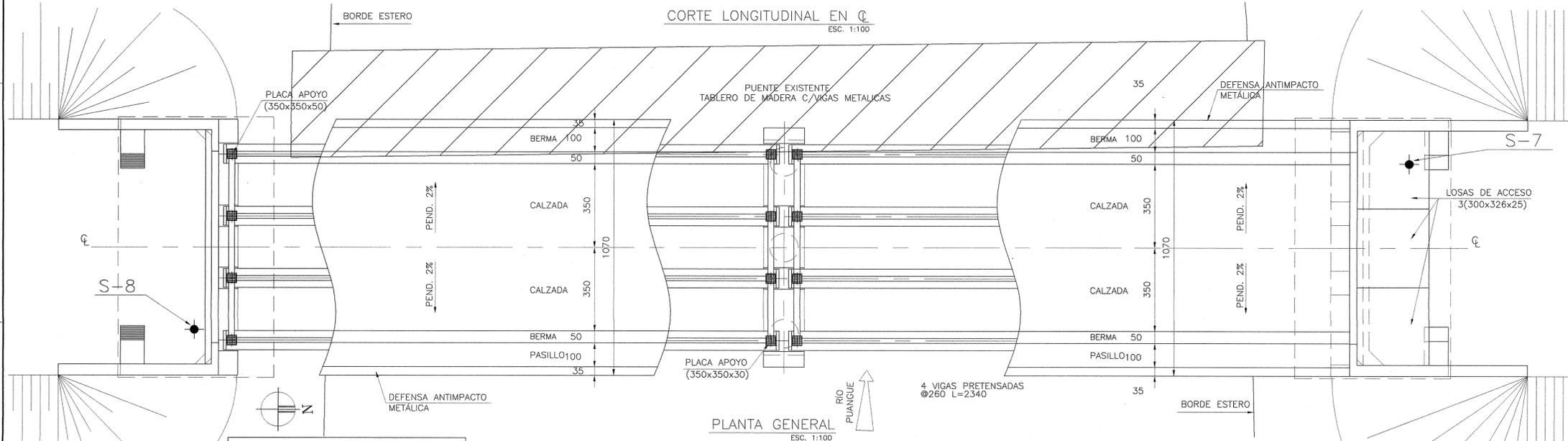
| | |
|---------------|--------|
| PILOTES | 7.5 cm |
| EN FUNDACION | 5.0 cm |
| EN ELEVACION | 4.0 cm |
| LOSA SUPERIOR | 4.0 cm |
| VIGAS Y OTROS | 2.5 cm |
- 4.- ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCION DE PUENTES (MCV-5 Ed. Dic. 2003)
- 5.- TENSIONES EN EL SUELO:

| | | |
|------------------|------------------------|----------|
| 5.1- ADMISIBLES: | FUND. DIRECTA | PILOTES |
| ESTATICO | 4.0 Kg/cm ² | 440 TON. |
| SISMICO | 6.0 Kg/cm ² | 586 TON. |
| 5.2- DE TRABAJO | | |
| ESTATICO | 2.9 Kg/cm ² | 200 TON. |
| SISMICO | 5.8 Kg/cm ² | 340 TON. |
- 6.- LONGITUDES MINIMAS DE ANCLAJES Y TRASLAPOS SEGUN AASHTO 2002
- 7.- COEF. SISMICO 0.2

| | |
|-------------------------|----|
| ZONA SISMICA | 3 |
| COEFICIENTE IMPORTANCIA | I |
| TIPO SUELO | II |
- 8.- CARACTERISTICAS HIDRAULICAS

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| PERIODO DE RETORNO | 100 AÑOS |
| VELOCIDAD (T-100) | 3.79 m/s |
| Q _{max} (T-100) | 674.89 m ³ /s |
| N.A.M. (T-100) | 160.90 |
- 9.- NIVEL DE AGUAS MAXIMAS Y NIVELES DE SOCAVACION DE ACUERDO A ESTUDIO HIDRAULICO ELABORADO POR LA EMPRESA CONSULTORA INGELOG Y APROBADO POR EL DEPTO. DE OBRAS FLUVIALES D.O.H. SEGUN ORD N°5735 DEL 07-02-07
- 10.- ELEVACIONES EN m.
DIMENSIONES EN cm.
- 11.- LOS SONDAJES FUERON ELABORADOS POR LA EMPRESA CONSULTORA INGELOG Y SUS RESULTADOS AVALADOS POR EL ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS Y POR MECANICO DE SUELOS DE ETAPA CONSTRUCTIVA.
- 12.- LOS SELLOS DE FUNDACION DEBERAN SER RECIBIDOS POR EL ESPECIALISTA EN MECANICA DE SUELOS DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA.

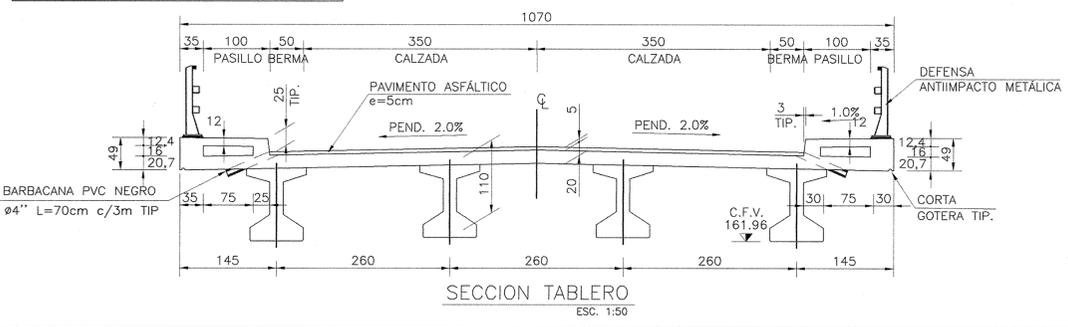
CORTE LONGITUDINAL EN C
ESC. 1:100



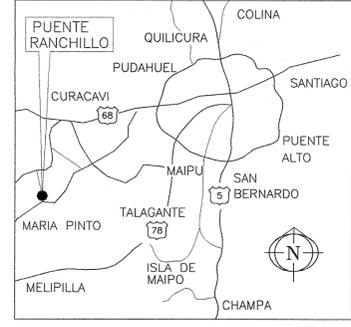
PLANTA GENERAL
ESC. 1:100

NOTA:
- VER DEFENSA DE ENROCADO EN PLANO 0/3 DEL ANTEPROYECTO OFICIAL

- NOMENCLATURA**
- CL = CENTER LINE
 - C.R. = COTA RASANTE
 - C.F.V. = COTA FONDO VIGA
 - TIP. = TIPO
 - PEND. = PENDIENTE
 - E/P = ENTRADA PUENTE
 - S/P = SALIDA PUENTE
 - J.D. = JUNTA DILATACION
 - N.F. = NIVEL FREÁTICO
 - S = SONDAJE



SECCION TABLERO
ESC. 1:50



PLANO DE UBICACION
S/E.

EMPLAZAMIENTO OBRAS DE PROTECCION FLUVIAL (VER LAMINA 0 DE 3 DE ANTEPROYECTO OFICIAL)

Empresa Constructora:
CONSTRUCTORA SALFA

CONSTRUCTORA SALFA S.A.
93699004

Representante: Carlo Castilla Rho

DIRECCION DE VIALIDAD
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE ESTRUCTURAS

Puente : RANCHILLO

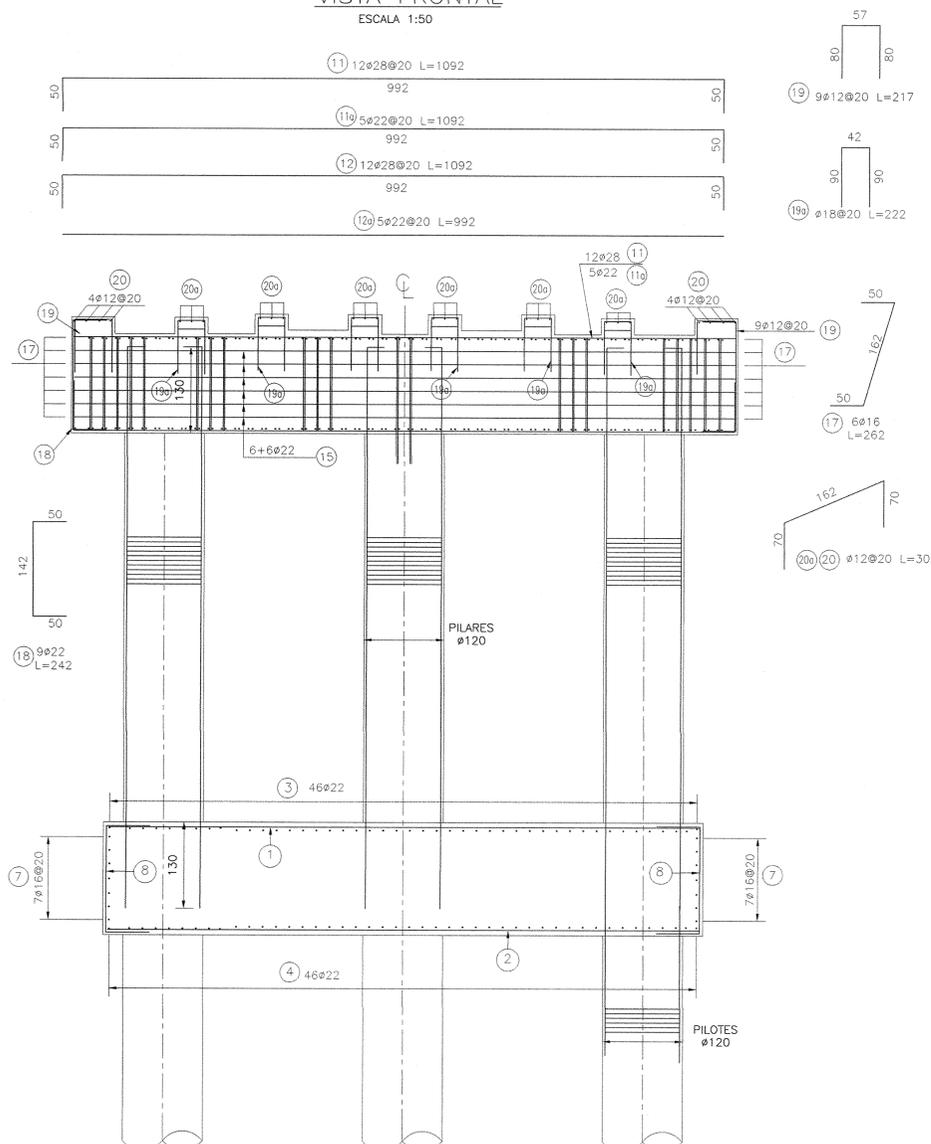
Camino : RUTA G-758

Provincia : MELIPILLA Región : R.M.

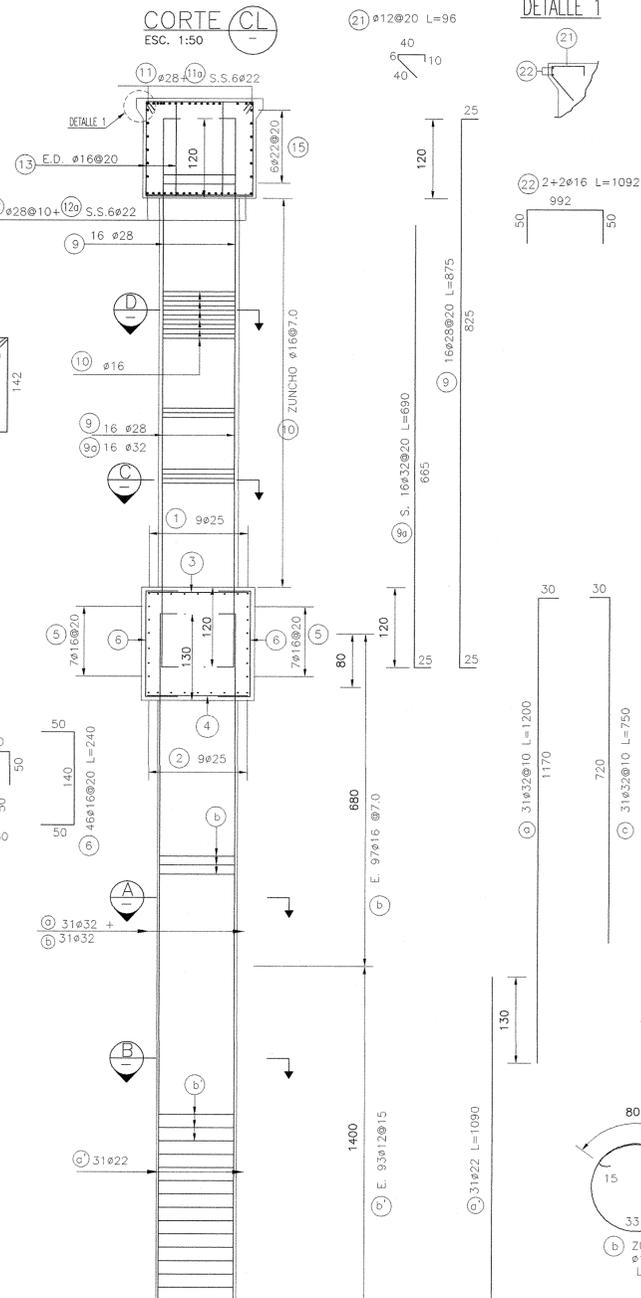
Proyector: CARLOS MARCHANT M.
Mec. Suelos: CLAUDIO PANTEROS
Revisor Estructura: RAÚL GODOY
ING. JEFE DEPTO. DE PROJ. DE ESTRUCTURAS
GUSTAVO SILVA R.

Dibujo : G.A.C.J.
Fecha : FEBRERO - 2012 Contiene : VISTA GENERAL Y SECCION TABLERO

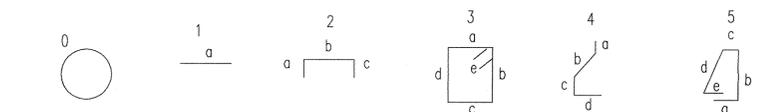
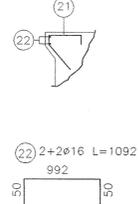
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:50



CORTE CL
ESC. 1:50



DETALLE 1



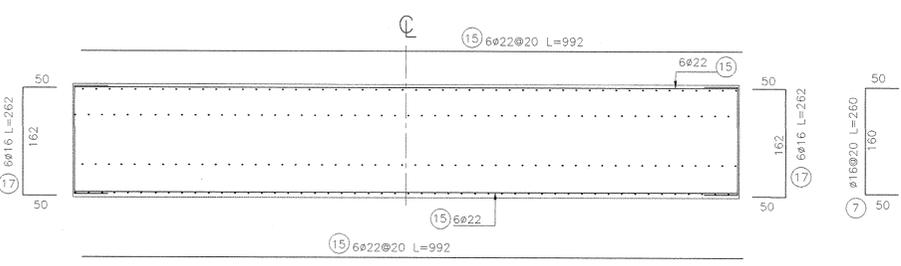
" PUENTE RANCHILLO " CUBICACION CEPA

| MARCA | CANTIDAD | TIPO | DIAM mm | DIMENSIONES (cm) | | | | | | LARGOS (m) | | DIAM (mm) | PESO (kg) |
|------------------------------------|----------|------|---------|------------------|--------------------------|-----|-----|----|----------------|------------|----|-----------|-----------|
| | | | | a | b | d | e | f | PARCIAL | TOTAL | | | |
| 1 | 9 | 2 | 25 | 50 | 890 | 50 | 0 | 0 | 9,90 | 89,1 | 25 | 343,3 | |
| 2 | 9 | 2 | 25 | 50 | 890 | 50 | 0 | 0 | 9,90 | 89,1 | 25 | 343,3 | |
| 3 | 46 | 2 | 22 | 50 | 160 | 50 | 0 | 0 | 2,60 | 119,6 | 22 | 356,9 | |
| 4 | 46 | 2 | 22 | 50 | 160 | 50 | 0 | 0 | 2,60 | 119,6 | 22 | 356,9 | |
| 5 | 14 | 2 | 16 | 50 | 890 | 50 | 0 | 0 | 9,90 | 138,6 | 16 | 218,7 | |
| 6 | 92 | 2 | 16 | 50 | 140 | 50 | 0 | 0 | 2,40 | 220,8 | 16 | 348,4 | |
| 7 | 14 | 2 | 16 | 50 | 160 | 50 | 0 | 0 | 2,60 | 36,4 | 16 | 57,4 | |
| 8 | 18 | 2 | 16 | 50 | 140 | 50 | 0 | 0 | 2,40 | 43,2 | 16 | 68,2 | |
| 9 | 48 | 2 | 28 | 25 | 825 | 25 | 0 | 0 | 8,75 | 420,0 | 28 | 2030,3 | |
| 10 | 319 | 0 | 16 | 440,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,41 | 1406,8 | 16 | 2219,9 | |
| 9a | 48 | 2 | 32 | 0 | 665 | 25 | 0 | 0 | 6,90 | 331,2 | 32 | 2090,9 | |
| 11 | 12 | 2 | 28 | 50 | 992 | 50 | 0 | 0 | 10,92 | 131,0 | 28 | 633,4 | |
| 11a | 5 | 2 | 22 | 50 | 992 | 50 | 0 | 0 | 10,92 | 54,6 | 22 | 162,9 | |
| 12 | 12 | 2 | 28 | 50 | 992 | 50 | 0 | 0 | 10,92 | 131,0 | 28 | 633,4 | |
| 12a | 5 | 1 | 22 | 992 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,92 | 49,6 | 22 | 148,0 | |
| 13 | 102 | 3 | 16 | 108 | 142 | 108 | 142 | 20 | 5,20 | 530,4 | 16 | 837,0 | |
| 15 | 12 | 1 | 22 | 992 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,92 | 119,0 | 22 | 355,2 | |
| 17 | 12 | 2 | 16 | 50 | 162 | 50 | 0 | 0 | 2,62 | 31,4 | 16 | 49,6 | |
| 18 | 18 | 2 | 22 | 50 | 142 | 50 | 0 | 0 | 2,42 | 43,6 | 22 | 130,0 | |
| 19 | 18 | 2 | 12 | 80 | 57 | 80 | 0 | 0 | 2,17 | 39,1 | 12 | 34,7 | |
| 20 | 8 | 2 | 12 | 70 | 162 | 70 | 0 | 0 | 3,02 | 24,2 | 12 | 21,5 | |
| 19a | 54 | 2 | 18 | 90 | 42 | 90 | 0 | 0 | 2,22 | 119,9 | 18 | 239,5 | |
| 20a | 18 | 2 | 12 | 70 | 162 | 70 | 0 | 0 | 3,02 | 54,4 | 12 | 48,3 | |
| 21 | 100 | 5 | 12 | 10 | 40 | 6 | 40 | 0 | 0,96 | 96,0 | 12 | 85,3 | |
| 22 | 4 | 2 | 16 | 50 | 992 | 50 | 0 | 0 | 10,92 | 43,7 | 16 | 68,9 | |
| TOTALES : | | | | 8mm = 0 | NO EXISTE BARRAS 14 Y 16 | | | | 22 mm = 1509,9 | | | | |
| | | | | 10mm = 0 | | | | | 25 mm = 686,6 | | | | |
| | | | | 12mm = 189,7 | | | | | 28 mm = 3297,2 | | | | |
| | | | | 16mm = 3868,1 | | | | | 32 mm = 2090,9 | | | | |
| | | | | 18mm = 239,5 | | | | | 36 mm = 0 | | | | |
| TOTAL GENERAL 1 CEPA 11.881,9 [Kg] | | | | | | | | | | | | | |

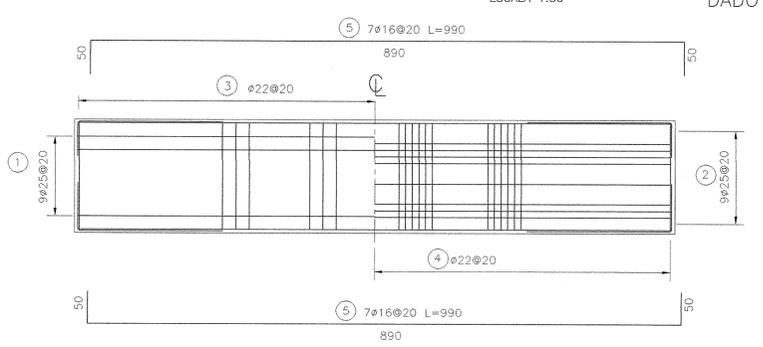
Pilotes Fundación Cepa

| PILOTES | MARCA | CANT. | TIPO | DIAM. | DIMENSIONES PARCIALES cms, | | | | | | LARGO EN mts, | | PESO Kg. |
|--|-------|-------|------|-------|----------------------------|----|----|---|-------|-------|---------------|--------|----------|
| | | | | | A | B | C | D | E | F | PARCIAL | TOTAL | |
| A | 31 | 2 | 32 | 30 | 1170 | 0 | 0 | 0 | 12,00 | 372,0 | 32 | 2348,4 | |
| B | 97 | 0 | 16 | 331 | 80 | 15 | 15 | 0 | 4,41 | 428,0 | 16 | 675,4 | |
| C | 31 | 2 | 32 | 0 | 720 | 30 | 0 | 0 | 7,50 | 232,5 | 32 | 1467,8 | |
| A' | 31 | 1 | 22 | 130 | 960 | 0 | 0 | 0 | 10,90 | 337,9 | 22 | 1008,3 | |
| B' | 93 | 0 | 12 | 333 | 80 | 15 | 15 | 0 | 4,43 | 413,7 | 12 | 367,3 | |
| TOTAL 1 PILETE = 5.867,2 Kg | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL 3 PILOTES POR CEPA = 17.601,7 Kg | | | | | | | | | | | | | |

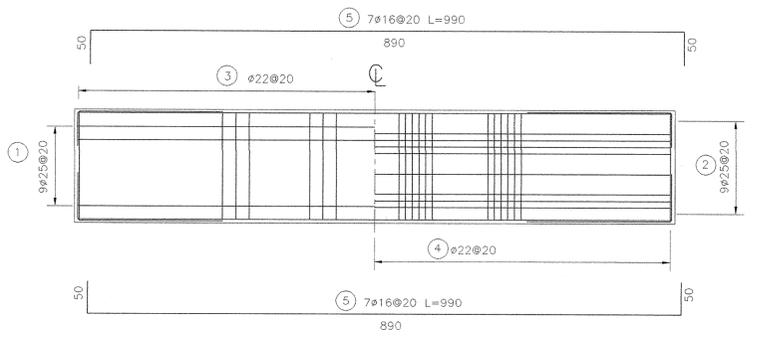
PLANTA CABEZAL
ESCALA 1:50



1/2 PLANTA SUPERIOR DADO
ESCALA 1:50



1/2 PLANTA INFERIOR DADO
ESCALA 1:50



ESPECIFICACIONES TECNICAS

- ACERO A63-42H (S.I.C.)
- HORMIGÓN:
 - EMPLANTILLADO H-10
 - FUNDACIONES H-30
 - ELEVACIONES H-30
 - PILOTES H-30
- RECUBRIMIENTOS:
 - FUNDACIONES 5,0 cm
 - ELEVACIONES 4,0 cm
 - PILOTES 7,5 cm
- LONGITUDES MÍNIMAS ANCLAJES Y TRASLAPOS SEGÚN AASHTO 2002

Empresa Constructora:
CONSTRUCTORA SALFA

CONSTRUCTORA SALFA S.A.
93.639.000-4

Representante: Carlo Castilla Rho

DIRECCION DE VIALIDAD
DIVISION DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS DE ESTRUCTURAS

Puente : RANCHILLO
Camino : RUTA G-758
Provincia : MELIPILLA Región : R.M.

Proyectó: CARLOS MARCHANT M.
Revisó: RAUL GODOY
GUSTAVO SILVA R.
ING. JEFE DEPTO. DE PROJ. DE ESTRUCTURAS

Dibujo : G.A.C.J.
Fecha : FEBRERO - 2012
Contiene : ENFIERRADURA CEPA 5/8