

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**SEDE VIÑA DEL MAR-JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**ESTUDIO TÉCNICO SOBRE LA REALIZACIÓN DE FUNDACIONES  
EN BASE DE PILOTES TUBULARES DE ACERO PARA MONOPOSTE.**

Trabajo de título para optar al título  
de Técnico universitario en  
construcción

Alumno:

Sebastian Sepulveda Varela

Profesor guía:

Marco Howes Herrera

**2023**

## **RESUMEN**

**KEYWORDS:** PRÁCTICA PROFESIONAL, FUNDACIONES EN BASE DE PILOTES

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo abordar diferentes tipos de fundaciones existentes, pero principalmente se desarrolla en un estudio de fundación de pilote para un monoposte en una línea de alta tensión. Durante la investigación se describen algunos tipos de fundaciones más comunes en la historia de la construcción.

Las torres de transmisión son consideradas como estructuras fundamentales para la distribución de energía eléctrica de alta tensión. Estas estructuras soportan los elementos y accesorios necesarios para lograr su distribución, por esto es necesario garantizar que estén en constante servicio, mantenga operatividad y funcionales para cualquier caso a presentarse, dado esto es de vital importancia el tipo de fundación dado que este se llevara toda las cargas producida por las estructuras y sus componentes, estas deben se eficaces frente a adversidades que puedan comprometer su integridad y propósito para el cual son diseñadas.

El diseño de cimentaciones para este tipo de estructuras es fundamental, y dado a los diversos tipos de cimentaciones, se tiene que escoger el mejor tipo, el cual ofrezca una mejor funcionalidad estructural y respuesta a cualquier percance a los que sean sometidas, así como, condiciones atmosféricas variables o durante su proceso constructivo y mantenimiento, teniendo presente en reducir el espacio de fundaciones presente en el terreno. Estas estructuras, deben satisfacer todas las solicitudes garantizando su estabilidad, basándose en las normativas y guías nacionales y optimizando la funcionalidad de servicios, recursos económicos y por supuesto minimizar cualquier afectación a la sociedad.

El objetivo general del trabajo de investigación es: Analizar los pasos a seguir para desarrollar una fundación de pilotes en un terreno con poco espacio para fundar. Mientras que los objetivos específicos son: Analizar técnica y económicamente la fundación tipo pilote para monoposte de línea de alta tensión.

# ÍNDICE

## Contenido

ÍNDICE DE IMAGEN .....	6
ÍNDICE DE Tablas.....	6
SIGLAS Y/O SIMBOLOGÍA .....	6
INTRODUCCIÓN .....	8
OBJETIVO GENERAL .....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
CAPÍTULO 1: TIPOS DE FUNDACIONES .....	9
1.1    MARCO TEORICO .....	10
1.1.1.    FUNDACIONES .....	10
1.1.2.    Fundaciones Superficiales .....	11
1.1.3.    Zapatas Aisladas .....	12
1.1.4.    Zapatas Corrida.....	13
1.1.5.    Zapatas Combinada .....	14
1.1.6    Vigas de Cimentación .....	15
1.1.7    Losa de Fundaciones.....	16
1.1.8    Losa de Fundaciones.....	17
1.1.9    Losa de Fundaciones.....	17
CAPÍTULO 2: FUNDACIONES TIPO PILOTE PARA POSTE METALICO .....	19
2.1. Desarrollo del Tema .....	20
2.2. Normas.....	21
2.3. Antecedentes.....	21
2.4. Materiales.....	21
2.4.1. Hormigón Estructural .....	21
2.5 Análisis necesario .....	22
2.5.1. Suelo de Fundación .....	22
2.5.2. Fundación Tipo Pilote.....	23
2.5.3. Dimensionamiento .....	23
2.5.3.1. Empotramiento del Pilote.....	23

2.5.3.2. Longitud del Cabezal Superior .....	24
2.5.4. Dimensiones Total del Pilote .....	24
2.5.5. COMBINACIONES DE CARGA PARA LA VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA DE FUNDACION .....	25
2.5.6. COMBINACIONES DE CARGA PARA EL CALCULO DE ARMADURAS .....	25
2.6. MODELO DE CÁLCULO .....	26
2.6.1. AMPLIFICACION DE MOMENTOS POR EXCENTRICIDAD DEBIDO AL EMPLAZAMIENTO DEL PILOTE .....	27
2.7. RESULTADOS .....	27
2.7.1. VERIFICACIÓN ESTABILIDAD DE LA ESTRCUTURA DE FUNDACION .....	28
2.7.2. CÁLCULO DE ARMADURAS DEL PILOTE .....	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
Bibliografía.....	33
ANEXO .....	34
ANEXO A: Planos.....	34
ANEXO B: Imagen de armadura de pilote de fundación:.....	36
ANEXO C: Procedimiento particular de pilotes pre-excavados. ....	36

## **ÍNDICE DE IMAGEN**

Imagen 1: Tipos de fundación (Pardo, s.f.)

Imagen 2: Fundaciones de zapatas aisladas.

Imagen 3: Fundaciones de zapata corrida.

Imagen 4: Fundaciones de zapatas combinada.

Imagen 5: Vigas de cimentación.

Imagen 6: Losa de fundación.

Imagen 7: Fundación tipo pilote.

Imagen 8: Planimetría de un pilote de fundación para mono-poste.

Imagen 9: Modelamiento de pilote de fundación.

Imagen 10: Ángulo de fricción del suelo.

Imagen 11: Curva de interacción de pilote.

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Solicitaciones máximas combinaciones sin mayorar.

Tabla 2: Solicitaciones máximas combinaciones mayoradas.

## **SIGLAS Y/O SIMBOLOGÍA**

### **SIGLAS:**

[Ec]: Modulo de Elasticidad

[Ig]: Inercia de Pilote

[PP]: Peso Propio del Pilote

[Qp]: Capacidad Admisible de carga punta del pilote

[Ap]: Área punta del pilote

[N\*q]: Factor del ángulo de fricción del suelo

[STi]: Cargas Transmitidas

[Kb]: Balasto lateral del suelo

[At]: Área tributaria

### **SIMBOLOGÍA**

[kn/m<sup>2</sup>]: kilo newton / metro cuadrado

[kg/cm<sup>2</sup>]: kilogramo /centímetro cuadrado

[kg/cm<sup>3</sup>]: kilogramo / centímetro cubico

[MW]: megawatts

[W]: watts

[m]: metros

[m<sup>2</sup>]: metros cuadrados

[cm<sup>2</sup>]: centímetros cuadrados

[m<sup>3</sup>]: metros cúbicos

[V]: voltaje

[A]: ampere

[KV]: kilo voltio

[MPA]: mega Pascale

[D]: diámetro

[Z]: profundidad

[z/Dkg/cm<sup>3</sup>]:

[ton]: tonelada

[ton/m<sup>2</sup>]: tonelada /metro cuadrado

## **INTRODUCCIÓN**

En el campo de la construcción, las fundaciones son parte vital de estas, son las bases para que cumplan su objetivo de firmeza, sustentabilidad, durabilidad, resistencia y seguridad a lo largo del tiempo.

Por esta razón en este trabajo de investigación, se pretende mostrar la técnica o tipo de fundación más adecuada para fundar un monoposte de acero en una línea de alta tensión.

En la actualidad la mayoría de los terrenos de construcción para efectuar trabajos de obras civiles de gran magnitud, son pequeños, por lo tanto, este tipo de fundaciones tipo pilote parece una alternativa muy apropiada para realizar trabajos en terrenos con poco espacio constructivo para fundar, que es la realidad en la mayoría de los espacios urbanos.

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar fundación de pilotes para monopostes tubulares de acero, para una línea de alta tensión, con poco espacio para fundar.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer los distintos tipos de fundaciones existentes.
- Analizar fundación de pilotes donde existe poco espacio para fundar.
- Evaluar técnica y procedimiento de fundaciones tipo pilote.

## **CAPÍTULO 1: TIPOS DE FUNDACIONES**

## 1.1 MARCO TEORICO

### 1.1.1. FUNDACIONES

La fundación se define como la parte de la construcción que se apoya sobre terreno. Es la base de la construcción la misma que debe soportar el peso de la super estructura en las peores condiciones de carga y repartirlos sobre el terreno en la profundidad necesaria. (Ing. Civil, 2021)

Los sistemas de fundaciones presentan una gran variedad de tipos, relacionadas con:

- Condiciones particulares del suelo.
- Características de la estructura fundar.
- Métodos constructivos

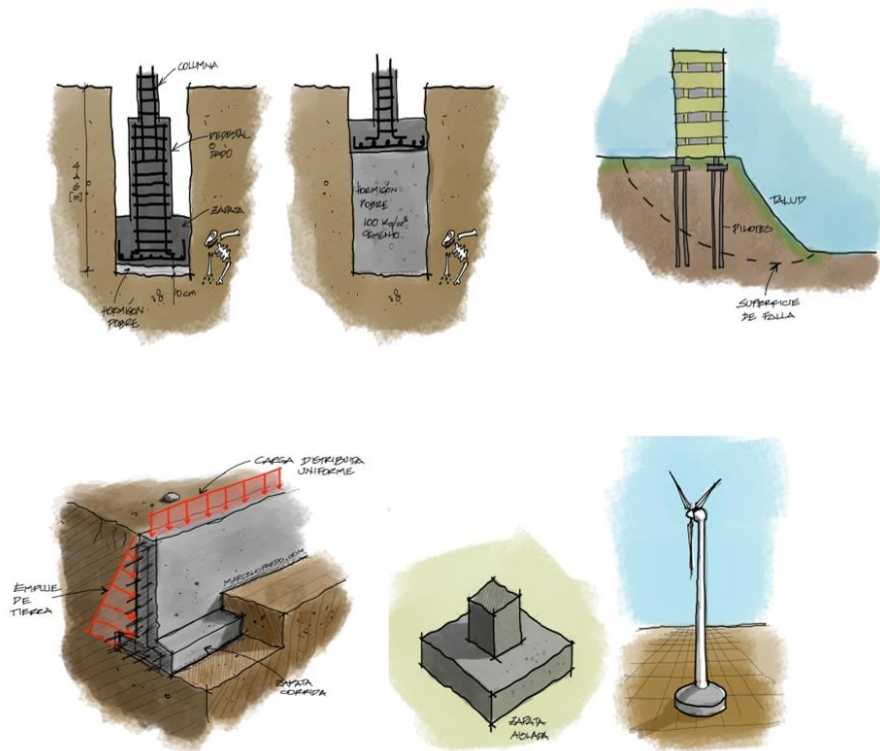


Imagen 1: Tipos de fundación (Pardo, s.f.)

### **1.1.2. Fundaciones Superficiales**

Estas fundaciones son las más comunes dentro del mundo de la construcción, suelen tener un rango de profundidad entre 1 y 3 mts. En este tipo de fundaciones a través de un estudio de mecánica de suelo se puede determinar si el terreno es apto o no para construir este tipo de fundaciones, cuando el estudio de suelos muestra los siguientes puntos podemos considerar que se puede construir con fundaciones superficiales.

Buena capacidad portante admisible del suelo una vez aplicados los factores de seguridad, con valores desde los 100 kN/m<sup>2</sup> hacia arriba.

- Cargas bajas a moderadas por columna
- Suelos granulares o arcillas no expansivas
- Estructuras con baja o nula carga lateral

Además, en este tipo de fundaciones podemos encontrar las siguientes, zapatas aisladas, zapatas corridas, zapatas combinadas, viga de cimentación y losa de fundación.

### 1.1.3. Zapatas Aisladas

Es el tipo más común de las fundaciones superficiales, la cual es utilizada en su mayoría en construcciones a porticadas donde las cargas provienen exclusivamente de columnas y necesitan transmitir esas cargas hacía el suelo. (Portal Construcción, 2018)

Las zapatas aisladas no son adecuadas para soportar cargas generalizadas, además pueden estar pueden ser de material reforzado o no reforzado, sin embargo, para la zapata no reforzada, la altura de la base debe ser mayor para proporcionar la separación de carga necesaria.

Sus formas más comunes, suelen ser cuadradas por su facilidad constructiva, sin embargo, en algunos casos constructivos adoptan otra figura como, bases circulares cuando el elemento estructural a soportar tiene sección circular, estas pueden ser el caso de tanques de agua con pilares circulares, faros, turbinas, u otros similares.



*Imagen 2: Fundaciones de zapatas aisladas.*

### 1.1.4. Zapatas Corrida

Este tipo de zapata se utiliza exclusivamente para soportar muros de contención o muros portantes, es muy común que estas se confundan con vigas de fundación, pero la gran diferencia es que este tipo de zapata siempre sostiene cargas distribuidas uniformemente en profundidad, además una zapata corrida normalmente tiene dos veces el ancho de un muro de carga portante, incluso mayor en algunos casos. (Portal Construcción, 2018)

El ancho y tipo de refuerzo de esta zapata, depende de la capacidad portante del suelo de cimentación.

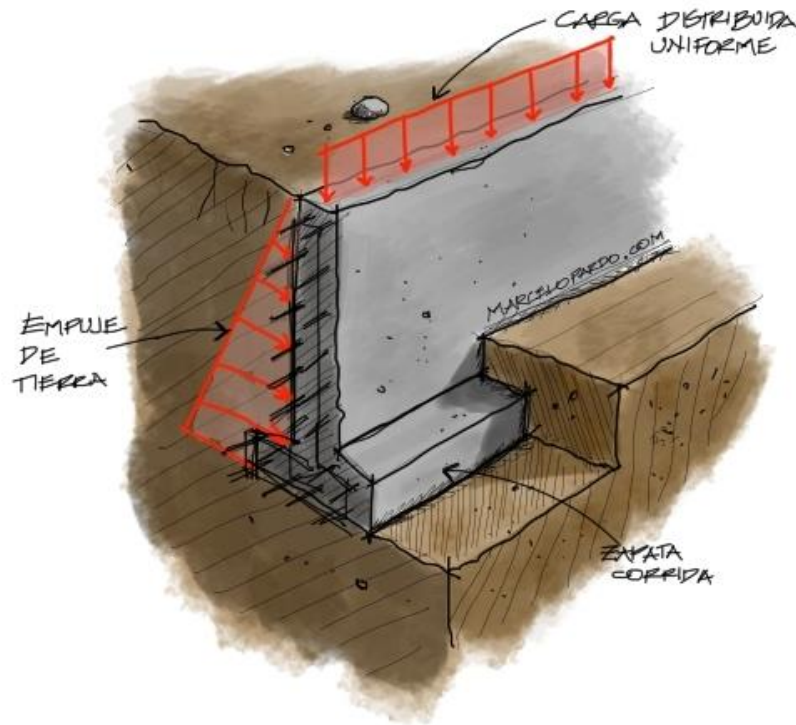


Imagen 3: Fundaciones de zapata corrida.

### 1.1.5. Zapatas Combinada

Tal como su nombre lo indica, este tipo de zapata esta constituida por la combinación de dos o más zapatas formando una sola. Esta zapata es muy común de ver en casos donde existe un solapamiento entre ares de zapatas o zapatas que están muy cerca una de otra, por ejemplo, una zapata combinada conformada por dos zapatas unidas trabaja redistribuyendo el esfuerzo o carga de mejor manera que dos zapatas aisladas. (Portal Construcción, 2018)

Cuando se tiene un solapamiento entre las superficies  $A_1 + A_2$  el producto de las cargas  $P_1$  y  $P_2$  respectivamente, deben sumarse y combinar ambas superficies  $A_T = A_1 + A_2$ , donde el centroide sea igual al centroide de ambas cargas  $P_1$  y  $P_2$  o al centroide de las áreas  $A_1$  y  $A_2$ , como se muestra en la siguiente imagen.

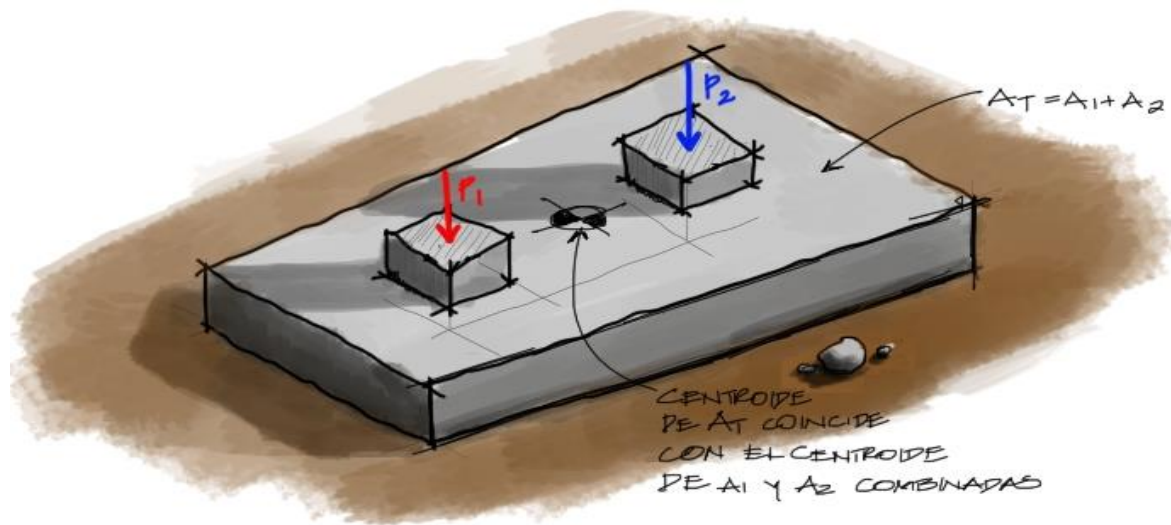


Imagen 4: Fundaciones de zapatas combinada.

### 1.1.6 Vigas de Cimentación

Este tipo de fundación trabaja en general con toda una fila de cargas puntuales en línea, producto de columnas hacia el suelo, es una especie de esfuerzos no uniformes en el contacto hormigón-suelo. Este tipo de fundación por lo general se analiza a partir de la interacción suelo-estructura, por lo tanto, se concibe a la viga como un elemento deformable apoyado sobre un lecho elástico.

Además, es común que las vigas de fundación tengan un elemento rigizador en forma de T invertida, para sus deformaciones se reduzcan y sus esfuerzos en el suelo sean más uniformes.

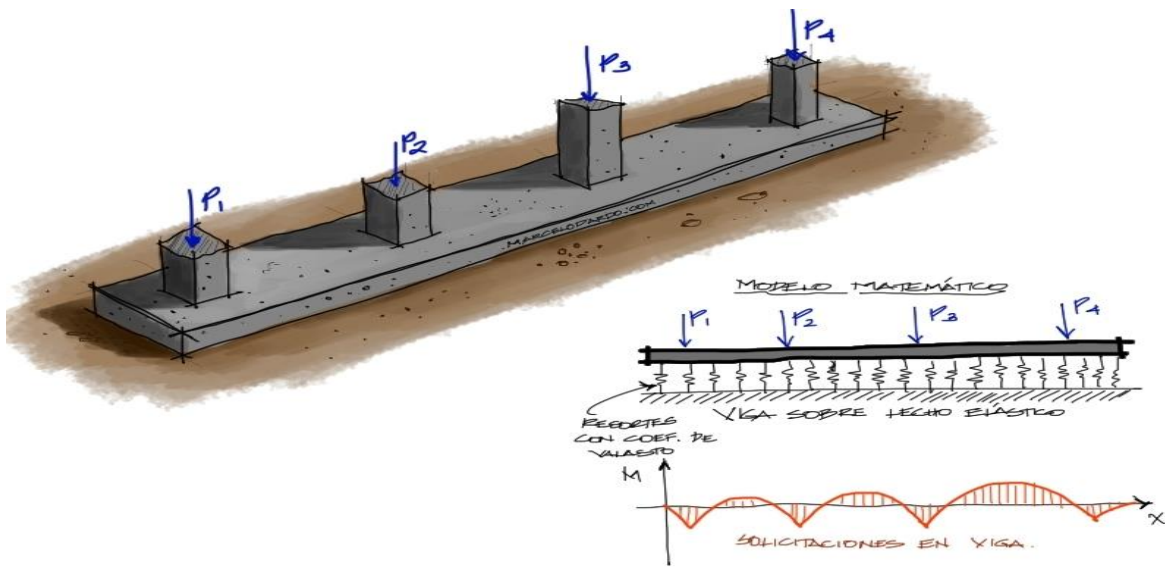


Imagen 5: Vigas de cimentación.

### 1.1.7 Losa de Fundaciones

Esta fundación también llamada losa raider, platea de fundación o losa de cimentación. Esta consiste en una losa sobre la cual se apoya toda la estructura, así distribuyendo de manera más o menos uniforme, los esfuerzos hacia el suelo.

Estas fundaciones tienen un principio de cálculo exactamente igual al de vigas de fundación, pero tienen un concepto tridimensional, es decir, que la losa se apoya sobre un lecho elástico conformado por resortes de elasticidad igual al coeficiente de carga o coeficiente de balasto del suelo.

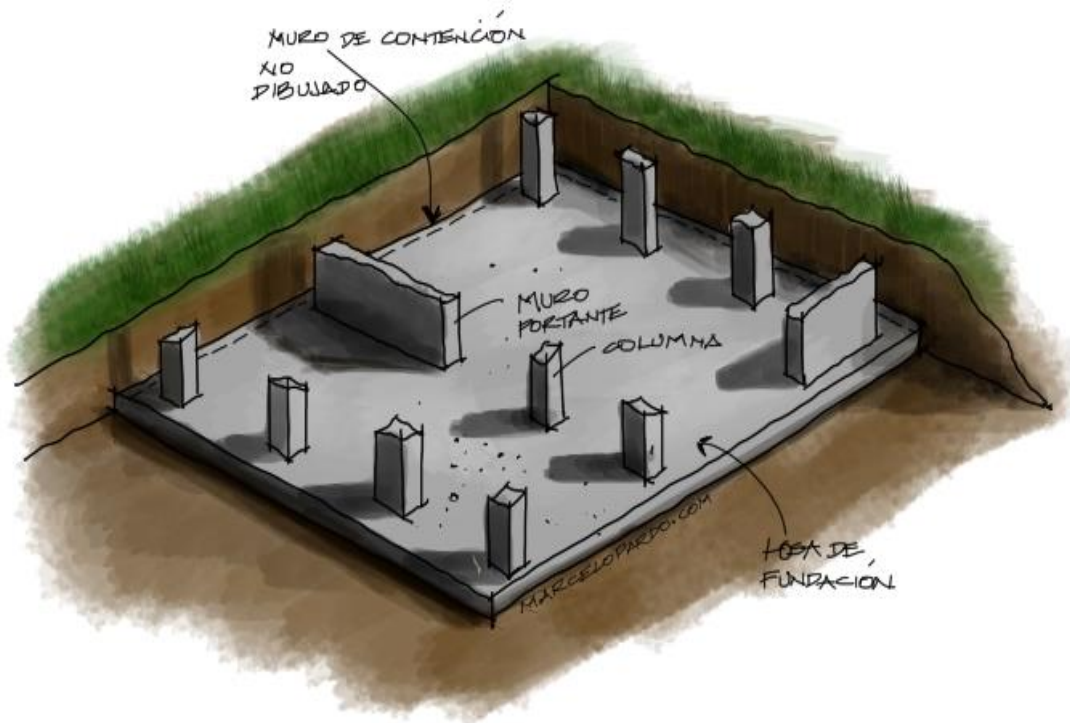


Imagen 6: Losa de fundación.

### **1.1.8 Losa de Fundaciones**

Este tipo de fundaciones su rango suele ser de 8 mts hacia adelante, surgen por la necesidad de transmitir las cargas de las estructuras a capas profundas del terreno a construir, es decir, que una fundación profunda permite transmitir las cargas de una estructura a una capa competente, ya sea para atravesar un terreno no apto para fundar o involucrar una mayor masa de terreno en la estabilidad de la estructura.

Además, se debe considerar las siguientes situaciones adicionales en las cuales se debe construir con fundaciones profundas como:

- La edificación se fundará encima de un talud inestable
- El suelo es muy comprensible o susceptible a consolidaciones considerables
- Las cargas son muy altas y se necesitan llegar a estratos de roca

### **1.1.9 Losa de Fundaciones**

Este sistema de fundación es el más común dentro de las fundaciones profundas, la función de la fundación con pilotes es la de transmitir la carga de la construcción a través de pilotes a la capa del terreno firme. Los pilotes de hormigón armado son los más usados, tanto en edificios y especialmente en puentes, tienen un diámetro de diseño casi estándar de 1 m a 1.2 m, los cuales se excavan mediante un equipo perforador de pilotes.

Además, existen distintos tipos de pilotes, donde se clasifican por tipo de material y método constructivo, los cuales son, pilotes hincados, pilotes insertados a presión, pilotes vaciados en sitio, etc.

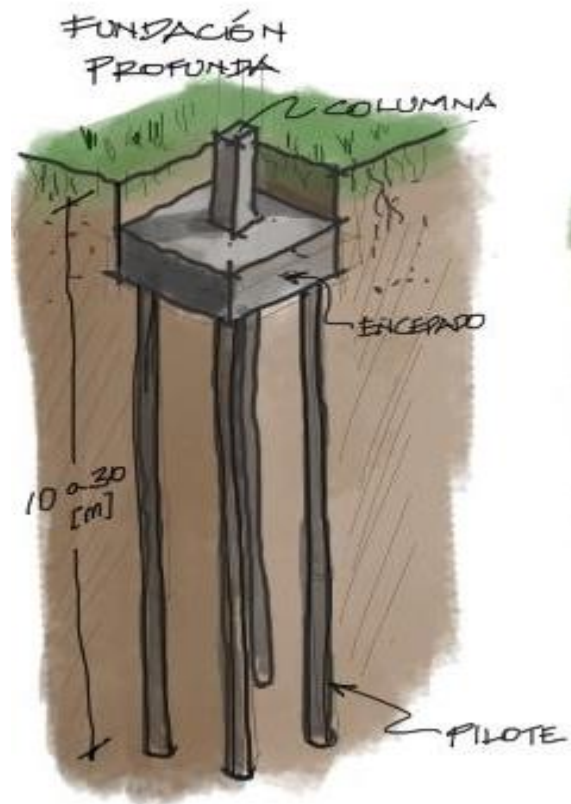


Imagen 7: Fundación tipo pilote.

**CAPÍTULO 2: FUNDACIONES TIPO PILOTE PARA POSTE**  
**METALICO**

## **2.1. Desarrollo del Tema**

El presente documento tiene como finalidad el cálculo y diseño de la fundación de tipo pilote para los mono-postes metálicos de suspensión tipo MPS1 de 20 y 22 metros de altura, respectivamente, a instalar en la nueva línea 2x110 kV. La estructura metálica estará conformada por mantos de 12 lados, dos cuerpos unidos telescópicamente o por traslapo y en la base se une a la fundación mediante una placa base con un arreglo de 20 pernos. Este tipo de fundaciones se proyecta en los casos donde hay poco espacio para fundar, y hacer una fundación normal con zapata y vástago.

Para este trabajo de titulación desarrollare un caso donde se da esta opción de construcción de este tipo de fundación en el cual tuve la ocasión de participar y es una línea Alta Tensión (AT) que se construirá en la zona sur de Santiago por la empresa Eléctrica Puente Alto (EEPA). Este proyecto consiste en construir una línea eléctrica de doble circuito en 110 [kV] (Línea de Alta Tensión 1 x 110 kV. Bajos de Mena – Acceso Sur) en la cual los espacio para fundar es muy reducido se opta por proyectar fundaciones tipo pilote para mono-postes metálicos de 20 a 22 [m] de altura.

El proyecto se justifica debido a la necesidad de satisfacer el constante incremento que registra la demanda energética a nivel comunal, regional y nacional. En este sentido, la construcción y operación de la línea de transmisión eléctrica, permitirá aumentar la potencia y energía disponibles, mejorando la seguridad y continuidad del suministro eléctrico a mediano y largo plazo.

## **2.2. Normas**

El diseño de la fundación tipo pilote, así como la fabricación, instalación y operación deberá ajustarse a la última edición de los siguientes Códigos, Normas y Reglamentos.

- NCh170:2016 : Hormigón - Requisitos Generales.
- NCh204 Of 2006 : Acero-Barras laminadas en caliente para hormigón armado.
- ACI 318-2008 : Requisitos de reglamento para concreto estructural.

## **2.3. Antecedentes**

Para el desarrollo del presente informe se tienen presentes los antecedentes de los siguientes documentos:

- Documento "Informe Mecánica de Suelos
- Cuadro de Reacciones Suspensión Postes H=22 m.

## **2.4. Materiales**

### **2.4.1. Hormigón Estructural**

- Hormigón calidad G20, 90% de confianza
- Resistencia cilíndrica a compresión ( $f'_c$ ): 20 MPa
- Módulo de elasticidad ( $E_h$ ): 21.098 MPa
- Peso específico ( $\gamma_s$ ): 2,4 tonf/m<sup>3</sup>

## **2.5 Análisis necesario**

### **2.5.1. Suelo de Fundación**

Los parámetros del suelo natural del sitio se ajustan de acuerdo al "Informe de Mecánica de Suelos Línea de Alta Tensión de 1x110 kV Bajos de Mena – Acceso Sur", preparado por RODRIGUEZ y GOLDSACK.

Se utiliza la caracterización para un Suelo Tipo 4, predominante en el área del proyecto. Estos suelos se pueden caracterizar asignando los siguientes valores a sus parámetros geomecánicos:

- Peso Unitario: 1,60 t/m<sup>3</sup>
- Angulo de Arrancamiento: 30°
- Presión admisible de contacto neta vertical para carga permanente: 1,00 kg/cm<sup>2</sup>
- Presión admisible de contacto neta vertical para carga no permanente: 1,50 kg/cm<sup>2</sup>
- Presión admisible de contacto neta horizontal para carga permanente a 1,00 m de profundidad: 0,50 kg/cm<sup>2</sup>
- Presión admisible de contacto neta horizontal para carga no permanente a 1,00 m de profundidad: 0,75 kg/cm<sup>2</sup>
- Presión admisible de contacto neta horizontal para carga permanente a 3,00 m de profundidad: 1,00 kg/cm<sup>2</sup>
- Presión admisible de contacto neta horizontal para carga no permanente a 3,00 m de profundidad: 1,50 kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad para carga permanente: 250,00 kg/cm<sup>2</sup>
- Coeficiente de Poisson: 0,30

Se hace notar que estos parámetros se entregaron para diseños de fundaciones superficiales, comprendidas entre 2,50 m y 4,00 m de profundidad por lo que no aplican en su totalidad para una fundación profunda, para el cálculo

de una fundación a base de pilotes se deberán realizar otras consideraciones, que se indicarán en los acápite siguientes.

### **2.5.2. Fundación Tipo Pilote**

La fundación tipo pilote proyectada tiene las siguientes dimensiones:

- Diámetro del pilote : 0,90 m
- Longitud del pilote : 10,00 m
- Área pilote : 0,64 m<sup>2</sup>
- Diámetro del cabezal pilote : 1,60 m
- Longitud del cabezal pilote : 2,00 m
- Área cabezal pilote : 2,01 m<sup>2</sup>

### **2.5.3. Dimensionamiento**

#### **2.5.3.1. Empotramiento del Pilote**

Para que el pilote trabaje bajo la hipótesis de empotramiento es necesario que cumpla con un empotramiento mínimo L.

Para determinar el empotramiento mínimo, L, del pilote se utiliza la siguiente expresión.

$$L \geq 4 \cdot \left( \frac{E_c \cdot I_g}{n_h} \right)^{1/5}$$

Donde:

- Ec: Módulo de Elasticidad del Pilote, E=238.750 kg/cm<sup>2</sup>.
- Ig: Inercia del Pilote,  $I_g = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$ , donde r =45 cm, I=3.220.623 cm<sup>4</sup>.
- nh: Coeficiente del módulo de variación de la subrasante, nh= 1,50 kg/cm<sup>3</sup>. Valor para suelos granulares de compacidad medianamente densa a densa.

$$L \geq 879,06 \text{ cm} = 8,79 \text{ m.}$$

Finalmente, se considera un pilote con una longitud de 10,00 m.

### 2.5.3.2. Longitud del Cabezal Superior

La longitud del cabezal superior está definida por la longitud de los pernos de anclajes, en este caso se considerará una longitud de 2,00 m.

Se hace notar que el cabezal superior deberá ser hormigonado contra terreno o bien contra moldaje, en este caso se deberá colocar un relleno de confinamiento lateral en torno cabezal.

### 2.5.4. Dimensiones Total del Pilote

El enterramiento total de la fundación se considera como la suma entre la longitud del pilote y la longitud del cabezal.

- Longitud Total Fundación = 10,00 m + 2,00 m = 12,00 m.

En la Figura se muestra las dimensiones y cotas de la fundación.

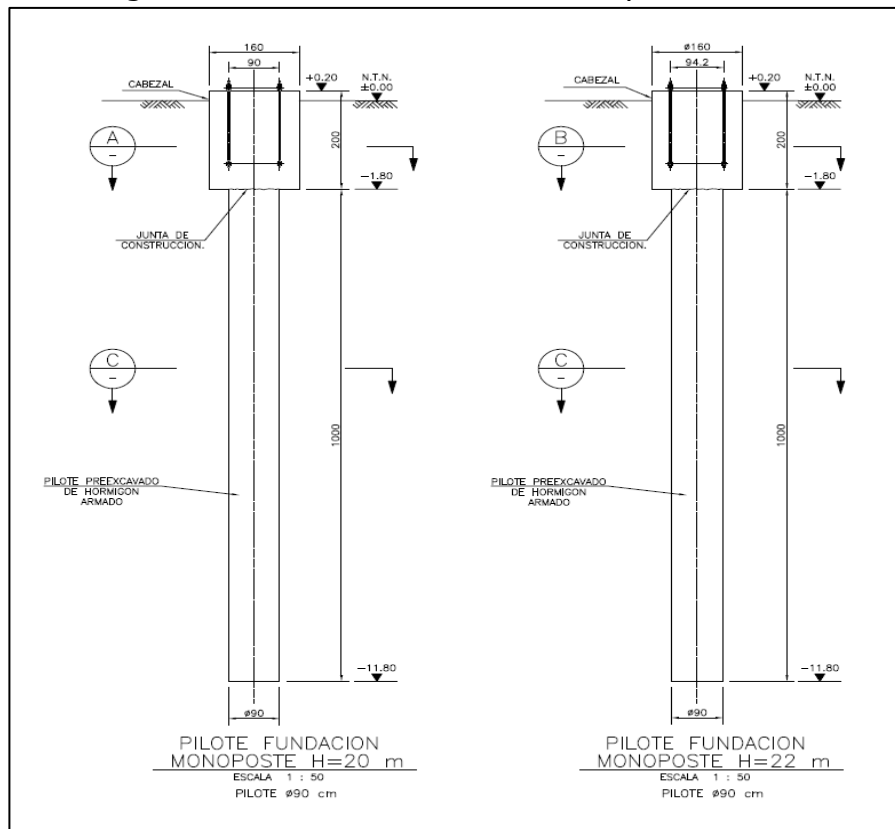


Imagen 8: Planimetría de un pilote de fundación para mono-poste.

### **2.5.5. COMBINACIONES DE CARGA PARA LA VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA DE FUNDACION**

Para verificar la estabilidad de los pilotes se utilizan combinaciones de cargas no mayoradas. No se considera carga de tracción para el pilote.

Se evaluarán las siguientes combinaciones:

- PP + ST<sub>i</sub> son 13 combinaciones

Donde:

- PP: Peso propio del pilote, considerando el peso total.
- ST<sub>i</sub>: Cargas transmitidas por el mono-poste en su condición de carga  $i$ ;  $i=1,2,3... 13$ .

### **2.5.6. COMBINACIONES DE CARGA PARA EL CALCULO DE ARMADURAS**

Para el diseño de las armaduras se utilizan las combinaciones de cargas mayoradas. No se considera carga de tracción para el pilote.

Se evaluarán las siguientes combinaciones:

- 1,2 PP + 1,6 ST<sub>i</sub>                      son 13 combinaciones
- 0,9 PP + 1,6 ST<sub>i</sub>                      son 13 combinaciones

Donde:

- PP: Peso propio del pilote, considerando el peso total.
- ST<sub>i</sub>: Cargas transmitidas por el mono-poste en su condición de carga  $i$ ;  $i=1, 2, 3... 13$ .

## **2.6. MODELO DE CÁLCULO**

Se elaboró un modelo computacional desarrollado con el software SAP2000 considerando la reacción del terreno lateralmente y en la punta de la fundación con resortes equivalentes.

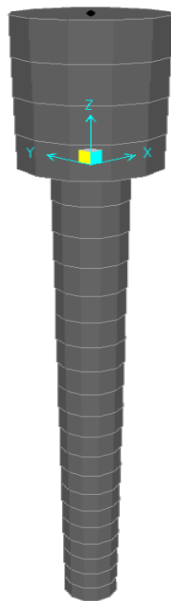
La rigidez del resorte lateral se determinó considerando lo que sigue.

$$k = k_b \cdot A_t$$

Donde:

- $k_b$ : Balasto lateral del suelo, el que se incrementa linealmente en profundidad,  $k_b = 1,50 \cdot z/D$  kg/cm<sup>3</sup>, donde  $z$  es la profundidad y  $D$  es el diámetro del pilote.
- $A_t$ : Área tributaria, considerando resortes cada 50 cm,  $A_t = 50 \text{ cm} \cdot 90 \text{ cm} = 4.500 \text{ cm}^2$ .

En la Figura se muestra el modelo de cálculo utilizado con el software SAP2000.



*Imagen 9: Modelamiento de pilote de fundación.*

*Fuente: Elaboración Propia.*

### **2.6.1. AMPLIFICACION DE MOMENTOS POR EXCENTRICIDAD DEBIDO AL EMPLAZAMIENTO DEL PILOTE**

Se debe considerar que en planta el pilote durante su construcción puede implantarse con un error de un 10% del diámetro del pilote,  $e_1 = 9,00$  cm.

También se debe considerar una desviación en la vertical del pilote durante su construcción de un 1% de la longitud del pilote,  $e_2 = 2,00$  cm (1% de la longitud del cabezal superior).

Los momentos resultantes se deben incrementar para el caso más desfavorable. Este incremento corresponderá a la carga axial en ton,  $P$ , multiplicada por 0,11 m.

$$\Delta M = P \cdot 0,11, \text{ en ton-m}$$

### **2.7. RESULTADOS**

A continuación, se muestra una tabla con las máximas sollicitaciones obtenidas para cargas mayoradas y para cargas sin mayorar en el pilote para las combinaciones de cargas más desfavorables.

Los valores máximos obtenidos son los siguientes:

Combinación	Tipo	M (ton-m)	N (ton)	V (ton)
COMBN-1	Normal	<b>48,99</b>	14,90	3,51
COMBN-1	Normal	0,00	<b>30,81</b>	0,40
COMBN-12	Eventual	<b>84,98</b>	14,90	6,16
COMBN-12	Eventual	0,00	<b>30,81</b>	0,69

*Tabla 1: Sollicitaciones máximas combinaciones sin mayorar.*

Combinación	Tipo	M (ton-m)	N (ton)	V (ton)
COMBN-1	Normal	<b>78,87*</b>	19,82	5,67
COMBN-1	Normal	0,00	<b>38,91</b>	0,64
COMBN-12	Eventual	<b>136,47*</b>	19,82	9,91
COMBN-12	Eventual	0,00	<b>38,91</b>	1,11

*Tabla 2: Solicitaciones máximas combinaciones mayoradas.*

(\*) En los momentos se han considerado la amplificación debido a los efectos de excentricidad

## **2.7.1. VERIFICACIÓN ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA DE FUNDACION**

### **2.7.1.1 CAPACIDAD ADMISIBLE DE COMPRESIÓN DEL PILOTE**

La capacidad admisible a la compresión del suelo sobre el cual se apoya el pilote, se puede determinar de acuerdo a la siguiente expresión propuesta por Vesic:

$$Q_P = A_p \cdot q' \cdot (N^*_q - 1)$$

Donde:

- $Q_p$ : Capacidad admisible de carga de la punta del pilote, en ton.
- $q'$ : Tensión efectiva del suelo a nivel de sello de apoyo del pilote, en ton/m<sup>2</sup>.
- $A_p$ : Área de la punta del pilote, en m<sup>2</sup>.

$N^*_q$ : Factor que depende del ángulo de fricción del suelo y determina a partir de la siguiente figura:

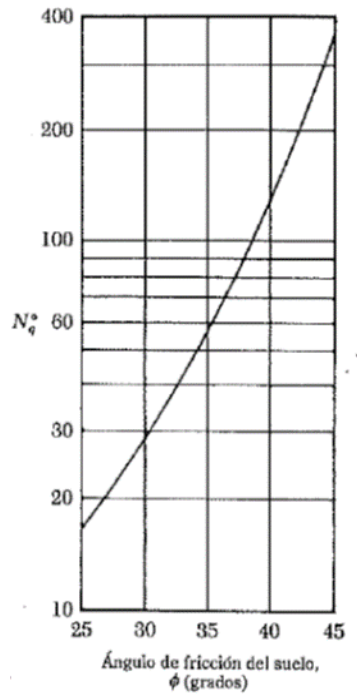


Imagen 10: Ángulo de fricción del suelo.

Para obtener la carga admisible, se debe aplicar un Factor de Seguridad de 3,00.

$$Q_P = \frac{329,70 \text{ ton}}{3,00} = 109,90 \text{ ton}$$

La carga solicitante de compresión sin mayorar en la punta del pilote es de 30,81 ton.

$$Q_P = 109,90 \text{ ton} > 30,81 \text{ ton} \quad \text{OK}$$

### 2.7.1.2 VERIFICACION TENSIONES LATERALES DEL SUELO

Las tensiones laterales del suelo no deben superar las tensiones admisibles horizontales, de acuerdo a lo indicado en la mecánica de suelo.

- Presión admisible de contacto neta horizontal para carga permanente: 1,00 kg/cm<sup>2</sup> = 10,00 ton/m<sup>2</sup>
- Presión admisible de contacto neta horizontal para carga eventual: 1,50 kg/cm<sup>2</sup> = 15,00 ton/m<sup>2</sup>

Las tensiones máximas laterales del suelo obtenidos, de acuerdo al modelo, son:

Para carga normal:

$$\sigma_n = \frac{1,54 \text{ ton}}{0,45 \text{ m}^2} = 3,42 \text{ ton/m}^2 < 10,00 \text{ ton/m}^2$$

Las tensiones laterales del suelo son menores que tensiones admisibles horizontales, por lo tanto carga normal es aceptada.

Para carga eventual:

$$\sigma_{ev} = \frac{2,66 \text{ ton}}{0,45 \text{ m}^2} = 5,91 \text{ ton/m}^2 < 15,00 \text{ ton/m}^2$$

Las tensiones laterales del suelo son menores que tensiones admisibles horizontales, por lo tanto carga normal es aceptada.

## **2.7.2. CÁLCULO DE ARMADURAS DEL PILOTE**

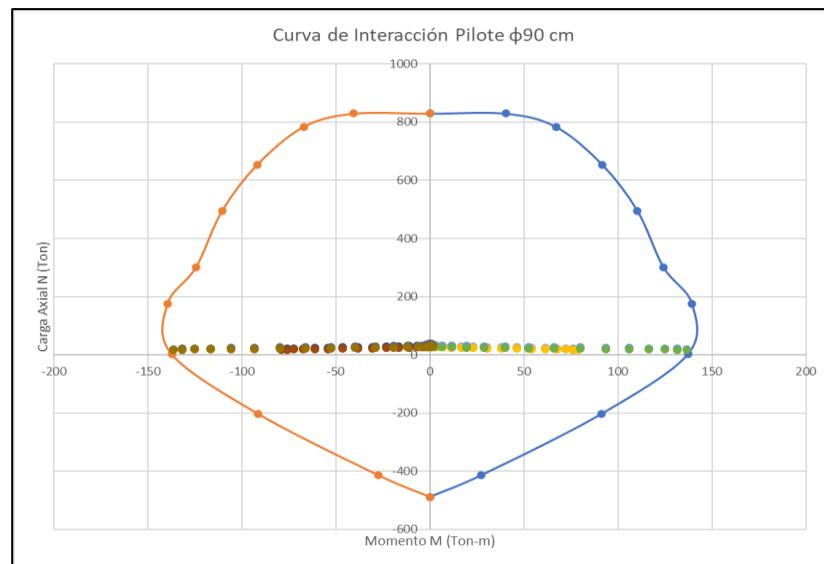
Se ha dispuesto una armadura longitudinal de  $16\phi 32$ , lo que equivale a una cuantía de  $\rho = 0,020$ . De acuerdo al ACI318-08, la cuantía mínima establecida debe ser mayor o igual a  $\rho = 0,01$ .

Se dispone de una armadura mínima de corte de  $E\phi 12$  a 15.

Para el cabezal del pilote, se ha dispuesto una armadura vertical de  $32\phi 22$ .

En la gráfica N° 2 se muestra la curva de interacción del pilote y se han graficado las solicitaciones de las combinaciones mayoradas más desfavorables para verificar la capacidad de éste.

La armadura considera las posibles desviaciones en planta de la construcción del pilote.



*Imagen 11:: Curva de interacción de pilote.*

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El objetivo principal de esta tesis era determinar la factibilidad de uso de fundación de pilotes para monopostes tubulares de acero, para una línea de alta tensión, con poco espacio para fundar. Para esto primero determinan los distintos tipos de fundaciones que existen en el área de construcción y se opta dado las condiciones de terreno por fundación de pilotes para monopostes tubulares de acero dado su mayor factibilidad en comparación a otras. Finalmente se verificó este modelo teórico a través de cálculos matemáticos.

Este desarrollo nos permite concluir que:

De la verificación estructural de la fundación tipo pilote para el poste metálico tipo MPS1 de 20 y 22 metros, se observa que la forma propuesta, cumple con los diseños de estabilidad y resistencia requeridos por la normativa vigente.

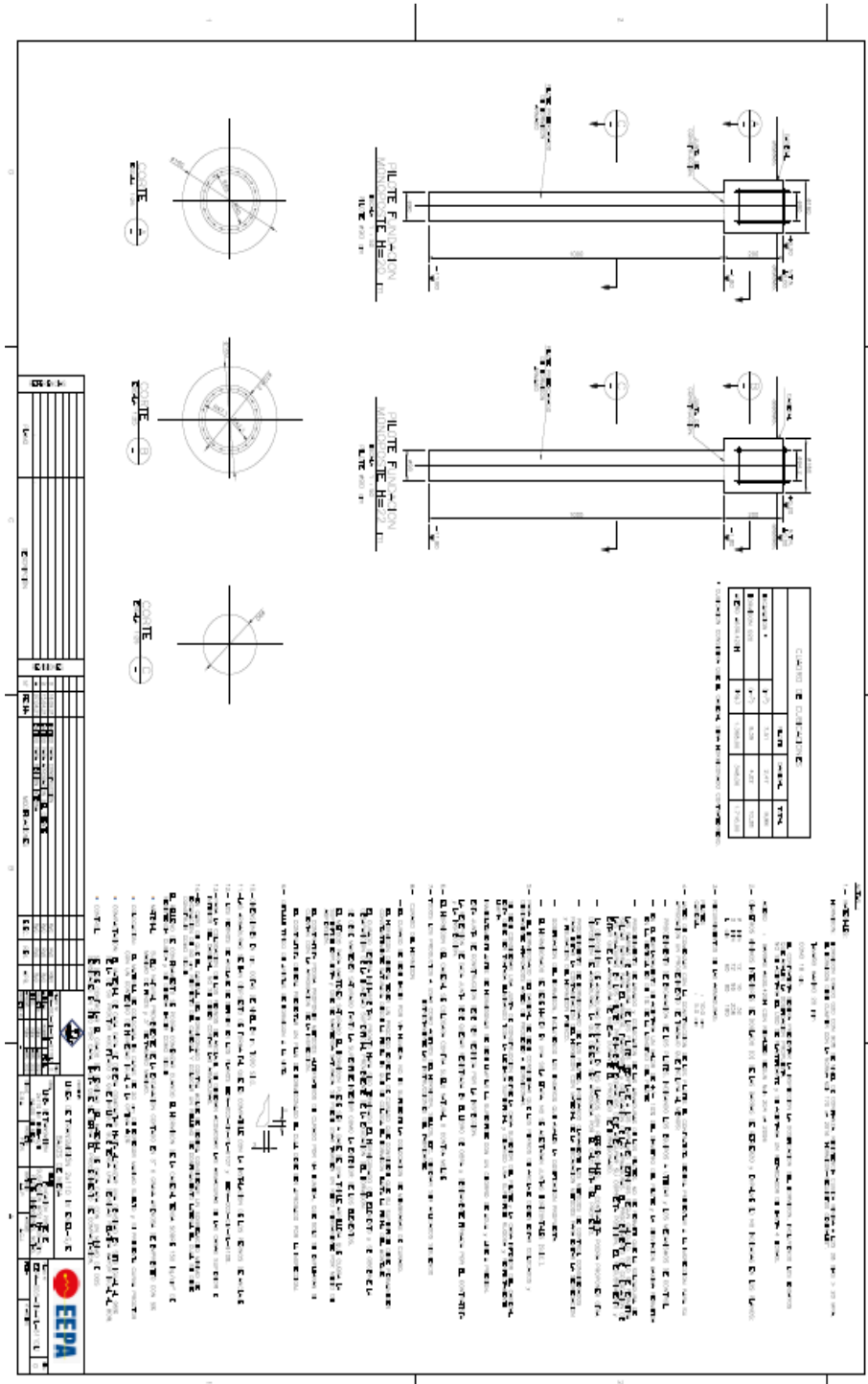
Por su parte, el diseño de armaduras cumple con las disposiciones del ACI 318-08, en función de los esfuerzos de diseño provenientes de solicitaciones bajo las condiciones más desfavorables.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Ing. Civil. (agosto de 2021). *Cueva del Civil*. Obtenido de <https://www.cuevadelcivil.com/2010/12/fundaciones.html>
- Pardo, M. (s.f.). *Marcelo Pardo*. Obtenido de <https://marcelopardo.com/tipos-de-fundaciones/>
- Portal Construcción. (12 de Julio de 2018). *Portal Ondac*. Obtenido de <https://portal.ondac.com/601/w3-article-120123.html>
- Deladrillo. (s.f.). *Deladrillo*. Obtenido de <http://deladrillo.com/obra/construccion-casa-madera/pilotes.html/>

# ANEXO

## ANEXO A: PLANOS





**ANEXO B: IMAGEN DE ARMADURA DE PILOTE DE FUNDACIÓN:**



**ANEXO C: PROCEDIMIENTO PARTICULAR DE PILOTES PRE-EXCAVADOS.**

**PROCEDIMIENTO PARTICULAR DE  
PILOTES PRE-EXCAVADOS  
Ø 900 MM**

**OBRA LINEA DE TRANSMISION  
ELECTRICA ENEL – BAJOS DE MENA**

001				
REV.	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	FECHA

--	--	--	--	--