

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“TRANSFERENCIAS DE CARGAS EN PILOTES  
PERFORADOS  
EN ARCILLA RÍGIDA”**

Por:

**BLANCA LUCY GARECA CASTILLO**

Tesis, presentada a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTONÓMA JUAN MISAEL SARACHO**”, como requisito para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**TARIJA - BOLIVIA**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por bendecirme con la vida, por permitirme llegar a cumplir una meta más, por hacer realidad este sueño anhelado, gracias por esa maravillosa luz que das a mi existencia.*

*A la “UNIVERSIDAD JUAN MISAEL SARACHO” por darme cobijo en todos esos años de estudio, dándome la oportunidad de lograr concluir una carrera.*

*También me gustaría agradecer a mis docentes porque todos han aportado con un granito de arena durante toda mi formación profesional, en especial al Ing. Jhony Orgáz y el Ing. Víctor Mostajo, por su visión crítica de muchos aspectos del trabajo, por su rectitud en su profesión como docentes, por sus consejos, sus conocimientos compartidos, que ayudan a formarte como persona y como profesional.*

*De igual manera un especial agradecimiento a mi tutora de tesis, Ing. Mabel Zambrana, por su ayuda, su enseñanza, y sobre todo su amistad; a mis tribunales Ing. Juan Gonzales e Ing. Rodrigo Sandoval por sus observaciones, conocimientos y enseñanzas que fueron elementales en la conclusión del trabajo.*

*Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida, compañeros y amigos de la Universidad, algunos aun están cerca de mi vida y otros en mis recuerdos, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado, su apoyo y amistad.*

*Po último, un agradecimiento es insuficiente, porque es mucho lo que la familia hace durante nuestra vida, a mis hermanos, sobrinos y en especial a mi madre querida, que son la razón de mi vida, por el apoyo, su comprensión, los consejos, y sobre todo por todo el cariño que me brindan cada día.*

*Para todos ellos y ellas: Gracias infinitas y que Dios les bendiga.*

## ÍNDICE:

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
<b>1.1</b> ANTECEDENTES.....	1
<b>1.2</b> JUSTIFICACIÓN.....	3
<b>1.3</b> OBJETIVOS.....	6
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
<b>1.4</b> ALCANCE DEL ESTUDIO.....	7

### CAPÍTULO II CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS CIMENTACIONES

<b>2.1</b> GENERALIDADES.....	11
<b>2.2</b> IMPORTANCIA DE LAS CIMENTACIONES.....	11
<b>2.3</b> TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CIMENTACIONES.....	12
2.3.1 FUNDACIONES SUPERFICIALES.....	13
2.3.1.1 TEORÍA DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGUI.....	13
2.3.1.2 TIPOS DE FUNDACIONES SUPERFICIALES.....	16
2.3.1.2.1 ZAPATAS.....	16
2.3.1.2.2 LOSAS DE FUNDACIÓN.....	19
2.3.1.2.3 CIMENTACIONES FLOTANTES.....	20
2.3.2 CIMENTACIONES PROFUNDAS.....	22
2.3.2.1 CIMENTACIONES POR PILOTES.....	22
2.3.2.2 CIMENTACIÓN POR PILARES.....	23
2.3.2.3 ANCLAJES.....	25
<b>2.4</b> PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CIMENTACIÓN.....	26
2.4.1 MUESTREO DE SUELOS.....	26
2.4.1.1 ROCA FIRME.....	28

	Página
2.4.1.2 CANTOS GRUESOS.....	30
2.4.1.3 GRAVA.....	31
2.4.1.4 ARENA.....	31
2.4.1.5 LIMO (INORGÁNICO).....	31
2.4.1.6 ARCILLA.....	32

### **CAPÍTULO III**

#### **CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS COMO ELEMENTO DE FUNDACIÓN**

<b>3.1</b> IMPORTANCIA PRÁCTICA DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE.....	33
<b>3.2</b> PROPIEDADES DE LOS SUELOS ARCILLOSOS FORMADOS DE FRACCIONES MUY FINAS.....	34
3.2.1 TEXTURA, ESTRUCTURA Y CONSISTENCIA.....	40
3.2.2 POROSIDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO UNITARIO.....	42
3.2.3 ÁNGULO DE FRICCIÓN DE SUELOS COHESIVOS.....	45
<b>3.3</b> CONSISTENCIA Y SENSIBILIDAD DE LAS ARCILLAS Y OTROS SUELOS INALTERADOS.....	46
3.3.1 SUELOS AMASADOS Y SU CONSISTENCIA.....	49
<b>3.4</b> ESTADOS DE EQUILIBRIO PLÁSTICO.....	51
3.4.1 NOCIONES BÁSICAS.....	51
3.4.2 EXCAVACIONES EN ARCILLA BLANDA.....	51
<b>3.5</b> ASENTAMIENTOS DE FUNDACIONES.....	53
3.5.1 FUNDACIONES SITUADAS SOBRE DE ESTRATOS CONFINADOS DE ARCILLA.....	53
3.5.2 RESISTENCIA AL CORTE DE ARCILLAS SATURADAS.....	54
3.5.3 DESLIZAMIENTOS EN ARCILLAS RESISTENTES.....	56
3.5.4 CONSECUENCIAS QUE LA DEPRESIÓN DE LA NAPA PRODUCE EN ESTRATOS DE ARCILLA.....	59

## CAPÍTULO IV

### PILOTES COMO ALTERNATIVA DE FUNDACIÓN

	Página
<b>4.1</b> CIMENTACIONES DE PILOTAJE.....	60
4.1.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE PILOTE.....	61
4.1.2 SELECCIÓN DE LA LONGITUD DEL PILOTE.....	63
4.1.3 SEPARACIÓN Y TOLERANCIAS.....	63
<b>4.2</b> TIPOS, FORMAS Y SU CONSTRUCCIÓN DE PILOTES.....	64
4.2.1 FORMAS DE LOS PILOTES.....	64
4.2.2 TIPOS DE PILOTES.....	66
4.2.2.1 PILOTES DE MADERA.....	66
4.2.2.2 PILOTES DE CONCRETO FABRICADOS “IN SITU”.....	68
4.2.2.3 PILOTES DE TUBO DE ACERO.....	71
4.2.2.4 PILOTES PREFABRICADOS DE CONCRETO.....	72
<b>4.3</b> CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN LA ELECCIÓN DEL TIPO DE PILOTE.....	74
4.3.1 PILOTES HINCADOS.....	74
4.3.2 PILOTES HINCADOS Y VACIADOS IN SITU.....	75
4.3.3 PILOTES PERFORADOS Y VACIADOS IN SITU.....	76
<b>4.4</b> RESISTENCIA ESTRUCTURAL DEL PILOTE (COMO COLUMNA).....	77
4.4.1 FUSTE DEL PILOTE.....	78
4.4.2 PUNTA DEL PILOTE.....	79
4.4.3 EFECTO DEL PILOTE EN EL SUELO.....	80
4.4.4 ENSAYO DE CARGA.....	82

**CAPÍTULO V**  
**CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD**  
**DE CARGA EN PILOTES**

	Página
<b>5.1</b> COMPORTAMIENTO DE UN GRUPO DE PILOTES.....	85
5.1.1 CAPACIDAD DE CARGA DE UN GRUPO DE PILOTES.....	86
5.1.2 EFICIENCIA DEL GRUPO DE PILOTES.....	88
5.1.3 ASENTAMIENTO DEL GRUPO DE PILOTES.....	89
<b>5.2</b> CARGAS ÚLTIMAS EN PILOTES PERFORADOS EN ARCILLA RÍGIDA.....	92
5.2.1 FRICCIÓN SUPERFICIAL A LO LARGO DEL PILOTE.....	92
5.2.3 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ÚLTIMA DE SOPORTE.....	95
<b>5.3</b> MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE UN PILOTE.....	97
5.3.1 MÉTODO ESTÁTICO.....	97
5.3.2 CAPACIDAD ADMISIBLE DE CARGA DE LOS PILOTES POR EL PROCEDIMIENTO DINÁMICO.....	101

**CAPÍTULO VI**  
**APLICACIÓN PRÁCTICA**

<b>6.1</b> INTRODUCCIÓN.....	110
<b>6.2</b> PERSPECTIVA GENERAL.....	110
<b>6.3</b> PROCEDIMIENTO TEÓRICO – MÉTODO ESTÁTICO.....	113
6.3.1 EJEMPLO – APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTÁTICO A UNA FUNDACIÓN CON PILOTES.....	115
<b>6.4</b> PROCEDIMIENTO TEÓRICO - MÉTODO DINÁMICO.....	123
6.4.1 EJEMPLO – APLICACIÓN DEL MÉTODO DINÁMICO .....	124
<b>6.5</b> ESTUDIO DE SUELOS PARA PUENTE VEHICULAR – SALINAS DEPARTAMENTO DE TARIJA.....	126

	Página
6.5.1 INTRODUCCIÓN .....	126
6.5.2 CORTES GEOELÉCTRICOS – ESTUDIO DE SUELOS RÍO SANTA CLARA – SALINAS .....	129
6.5.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTÁTICO A PERFIL DE SUELO EN RÍO SANTA CLARA – SALINAS.....	133
<b>6.6</b> INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	139
6.6.1 COMPARACIÓN DE VALORES MÉTODO ESTÁTICO – MÉTODO DINÁMICO EN UN MISMO ESTRATO DE SUELO.....	139
6.6.2 COMPARACIÓN DE VALORES MÉTODO ESTÁTICO EN PILOTES HINCADOS EN DOS TIPOS DE ESTRATO DE SUELO (MIXTO Y ARCILLA RÍGIDA).....	140

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>7.1</b> CONCLUSIONES.....	142
<b>7.2</b> RECOMENDACIONES.....	146

### **BIBLIOGRAFIA**

### **ANEXO I**

### **PLANOS**

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Cimentación de una estructura.....	12
Figura 2.2 Falla por capacidad de carga en suelo bajo una Cimentación corrida, rígida y rugosa.....	14
Figura 2.3 Edificio con cimentación superficial por zapatas.....	16
Figura 2.4 Por su forma en planta.....	17
Figura 2.5 Por su morfología.....	17
Figura 2.6 Como elemento estructural.....	18
Figura 2.7 Distribución de las presiones en cimentaciones flotantes.....	21
Figura 2.8 Edificio cimentado sobre pilotes.....	22
Figura 2.9 Pilar barrenado sobre roca (pilar en pozo).....	23
Figura 2.10 Construcción de un cajón abierto.....	24
Figura 2.11 Excavación en roca firme.....	29
Figura 2.12 Ejemplos de las dificultades por los cantos gruesos.....	30
Figura 3.1 Representación diagramática de la distribución de cationes Adyacentes a una partícula de arcilla con carga superficial negativa.....	38
Figura 3.2 Flóculos de arcilla en disposición paralela.....	39
Figura 3.3 Variación del ángulo de fricción $\Phi'$ con el índice de plasticidad para varias arcillas.....	46
Figura 3.4 Corte de la taza para determinar el límite líquido con la pasta de suelo.....	49
Figura 3.5 Sección transversal de una excavación a cielo abierto en un espeso depósito de arcilla.....	52
Figura 3.6 (a) y (b).....	53
Figura 3.7 Sección a través de la masa de una arcilla resistente fisurada.....	57
Figura 4.1 Formas básicas de pilotes.....	65
Figura 4.2 Cabeza y punta del pilote de madera.....	68
Figura 4.3 Pilotes de hormigón fabricados “in situ”.....	69

	Página
Figura 4.4 Construcción de un pilote de bulbo sin tubo de entibación permanente.....	71
Figura 4.5 Resistencia de pilotes por fuste y punta.....	80
Figura 4.6 Efecto producido en el suelo por un pilote durante la hinca.....	81
Figura 4.7 Ensayo de carga en un pilote.....	83
Figura 4.8 Ensayo de carga con gato hidráulico.....	83
Figura 5.1 Método aproximado para analizar la capacidad y el asiento de un grupo de pilotes.....	87
Figura 5.2 Eficiencia de los grupos de pilotes largos de fricción.....	89
Figura 5.3 Pilotes resistentes por punta.....	90
Figura 5.4 Aumento de la capacidad de soporte de los pilotes hundidos en arcillas de suaves a rígidas.....	92
Figura 5.5 Factores de adhesión para los pilotes hundidos en arcilla.....	94
Figura 5.6 a .....	104
Figura 5.6 b.....	105
Figura 5.7 Tipos de martinete.....	107
Figura 6.1 Formas de distribución de pilotes.....	112
Figura 6.2 Perfil y dimensiones del pilote hincado en arcilla rígida.....	117
Figura 6.3 Distribución simétrica del conjunto de pilotes.....	119
Figura 6.4 Dimensiones y espaciamientos del encepado.....	118
Figura 6.5 Zapata cabezal construida sobre nueve pilotes vista en planta.....	123
Figura 6.6 Disposición de los electrodos – configuración Schlumberguer.....	128
Figura 6.7 Corte geoelectrico 1 – perfil de suelo .....	130
Figura 6.8 Corte geoelectrico 2 – perfil de suelo.....	131
Figura 6.9 Perfil geoelectrico sobre el rio Santa Clara, Comunidad Salinas.....	132
Figura 6.10 Dimensiones del pilote y valores del estrato de suelo mixto.....	134
Figura 6.11 Distribución cuadrada del conjunto de pilotes.....	136
Figura 6.12 Dimensiones y espaciamientos del encepado.....	138

## ÍNDICE DE CUADROS (TABLAS)

	Página
Tabla 2.1 Factores de capacidad de carga de Terzaghi.....	15
Tabla 3.1 Numero de cargas positivas en minerales arcillosos.....	37
Tabla 3.2 Pesos específicos absolutos de los elementos sólidos más importantes de los suelos.....	44
Tabla 3.3 Porosidad, relación de vacíos y peso unitario de suelos típicos en estado natural.....	45
Tabla 3.4 Consistencia de las arcillas saturadas en función de la resistencia a la compresión simple.....	46
Tabla 3.5 Relación entre consistencia de arcillas saturadas, número de golpes N de la cuchara partida y resistencia a la compresión simple.....	55
Tabla 5.1 Capacidad portante de diferentes tipos de pilotes.....	86
Tabla 5.2 Fricción lateral de los suelos.....	98
Tabla 5.3 Pesos volumétricos de los suelos.....	99
Tabla 5.4 Valores de coeficientes para distintos tipos de martinets.....	103
Tabla 5.5 Valores de Bs para diferentes tipos de suelos.....	103
Tabla 5.6 Energía nominal según características de martinets.....	106
Tabla 6.1 Valores de las capacidades de carga.....	139
Tabla 6.2 Valores de las capacidades de carga.....	140

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía 3.1 Caolinita .....	35
Fotografía 3.2 Illita .....	36
Fotografía 3.3 Montmorillonita .....	36
Fotografía 3.4 Deslizamientos.....	58
Fotografía 4.1 Hincado de pilotes de tubo de acero .....	72
Fotografía 4.2 Hincado de un pilote prefabricado .....	73
Fotografía 5.1 Construcción de un grupo de pilotes perforados.....	86
Fotografía 5.2 Asentamiento producido en un grupo de pilotes.....	91
Fotografía 5.3 Pilote construido “in situ” .....	100
Fotografía 5.4 Vaciado de concreto, con una resistencia medida en cono de Abrams de 10 a 15cm.....	101
Fotografía 5.5 Pilotes hincados de madera por martinete .....	109
Fotografía 7.1 Perforación de un pilote .....	145
Fotografía 7.2 Colocado de la armadura para la construcción de un pilote “ in situ” .....	146