

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



**“COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA ENTRE TRES TIPOS DE
FUNDACIONES PARA UNA TORRE DE TELECOMUNICACIÓN AUTO
SOPORTADA ESTANDAR”**

POR:

BLADES FLORES JOSE ANTONIO

Proyecto de Grado presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE - I - 2021
TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo quiero dedicar a mis abuelos. Héctor y Sara por demostrarme que con esfuerzo y dedicación uno puede cumplir todos sus sueños y metas. Adhemar y Ana, por enseñarme a dar lo mejor de mí mismo hasta el final sin importar cuan dura sea la batalla que se enfrente.

A mis padres, José y Roxana por todo el apoyo y amor que me dieron, el cual fue el motor que me impulsó para cumplir este sueño.

INDICE GENERAL

1. Capítulo I: Generalidades	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Propuesta de solución	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. General	3
1.3.2. Específicos	3
1.4. Justificación	4
1.4.1. Académica	4
1.4.2. Técnica	4
1.4.3. Social	4
2. Capítulo II: Marco referencial	5
2.1. Marco teórico	5
2.1.1. Torres de telecomunicación	5
2.1.1.1. Cargas de la torre de telecomunicación	6
2.1.1.2. Fundaciones para una torre de telecomunicación	7
2.1.2. Mecánica de suelos	9
2.1.2.1. Relación peso – volumen	10
2.1.2.2. Análisis granulométrico	11
2.1.2.2.1. Análisis por tamiz	11
2.1.2.2.2. Análisis de hidrómetro	13
2.1.2.3. Plasticidad	14
2.1.2.3.1. Limite líquido (LL)	14
2.1.2.3.2. Limite plástico (LP)	15
2.1.2.3.3. Índice de plasticidad (IP)	15
2.1.2.4. Clasificación del suelo	15
2.1.2.4.1. Sistema de clasificación AASHTO	16
2.1.2.4.2. Sistema de Clasificación SUCS	16
2.1.2.5. Resistencia al cortante del suelo	17
2.1.2.5.1. Prueba de corte directo	18
2.1.2.5.2. Prueba triaxial	20
2.1.2.6. Ensayo de penetración estándar (SPT)	21
2.1.3. Fundaciones	25

2.1.3.1. Pilotes helicoidales	26
2.1.3.1.1. Breve reseña histórica	28
2.1.3.1.2. Elementos esenciales de un pilote helicoidal.....	28
2.1.3.1.3. Aplicación.....	30
2.1.3.1.4. Ventajas de uso	31
2.1.3.1.5. Instalación.....	31
2.1.3.1.6. Diseño.....	32
2.1.3.1.6.1. Selección del producto.....	33
2.1.3.1.6.2. Espaciamiento entre hélices y profundidad mínima.....	34
2.1.3.1.6.3. Capacidad de carga.....	35
2.1.3.1.6.4. Torque de instalación.....	38
2.1.3.1.6.5. Pandeo	39
2.1.3.1.6.6. Consideraciones por corrosión.....	42
2.1.3.2. Zapatas aisladas de H°A°	45
2.1.3.2.1. Capacidad de carga	45
2.1.3.2.1.1. Factores de corrección.....	47
2.1.3.2.2. Tensiones en la base de la zapata	48
2.1.3.2.2.1. Trapezoidal.....	48
2.1.3.2.2.2. Triangular.....	49
2.1.3.2.3. Diseño estructural	49
2.1.3.2.3.1. Cálculo del esfuerzo cortante.....	50
2.1.3.2.3.2. Cálculo de flexión.....	51
2.1.3.2.3.3. Condiciones del acero de refuerzo	53
2.1.3.2.4. Proceso constructivo	54
2.1.3.3. Pilotes de H°A°	55
2.1.3.3.1. Capacidad de carga	56
2.1.3.3.1.1. Capacidad de carga por punta.....	56
2.1.3.3.1.2. Capacidad de carga por fuste.....	57
2.1.3.3.2. Grupo de pilotes.....	59
2.1.3.3.3. Rozamiento negativo.....	60
2.1.3.3.4. Diseño estructural	61
2.1.3.3.4.1. Diseño a tracción	62
2.1.3.3.4.2. Diseño a compresión máxima.....	62

2.1.3.3.4.3. Diseño a cortante	63
2.1.3.3.4.4. Encepados.....	65
2.1.3.3.5. Métodos constructivos	67
2.1.3.3.5.1. Construcción seca.....	67
2.1.3.3.5.2. Construcción con ademe.....	67
2.1.3.3.5.3. Construcción en húmedo	68
3. Capítulo III: Ingeniería del proyecto.....	69
3.1. Nivel de diseño del proyecto	69
3.2. Descripción del diseño técnico y metodológico	70
3.2.1. Normas de diseño	70
3.2.2. Análisis de cargas	70
3.2.3. Dimensionamiento de las fundaciones.....	71
3.2.3.1. Torre de telecomunicación San Antonio	71
3.2.3.1.1. Pilotes helicoidales.....	73
3.2.3.1.1.1. Selección del producto.....	73
3.2.3.1.1.2. Dimensiones del pilote helicoidal.....	73
3.2.3.1.1.3. Capacidad de carga.....	75
3.2.3.1.1.4. Torque de instalación.....	80
3.2.3.1.1.5. Pandeo	81
3.2.3.1.2. Zapatas aisladas de hormigón armado.....	81
3.2.3.1.2.1. Estimación de la base para la zapata.....	81
3.2.3.1.2.2. Profundidad de la fundación.....	82
3.2.3.1.2.3. Verificación de levantamiento	83
3.2.3.1.2.4. Tensiones en la base de la zapata.....	84
3.2.3.1.2.5. Capacidad de carga del suelo.....	86
3.2.3.1.2.6. Diseño a corte.....	86
3.2.3.1.2.7. Diseño a flexión.....	89
3.2.3.1.2.8. Diseño de la columna	93
3.2.3.1.3. Pilote de hormigón armado	99
3.2.3.1.3.1. Capacidad de carga.....	99
3.2.3.1.3.2. Diseño del pilote.....	103
3.2.3.1.3.3. Diseño de la columna	107
3.2.3.1.3.4. Diseño de encepado.....	107

4. Capítulo IV: Comparación Técnico - Económica	110
4.1. Comparación técnica	110
4.1.1. Ventajas y desventajas	110
4.1.1.1. Pilotes helicoidales	110
4.1.1.2. Fundaciones de hormigón armado	111
4.1.2. Proceso constructivo	112
4.1.2.1. Pilotes helicoidales	112
4.1.2.2. Zapatas aisladas	114
4.1.2.3. Pilotes de hormigón armado	116
4.1.3. Tiempo de construcción.....	118
4.2. Comparación económica	119
4.2.1. Cálculos métricos	120
5. Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	121
BIBLIOGRAFÍA.....	126
ANEXOS.....	I
Anexo A. Tablas de clasificación	I
Anexo B. Cargas a nivel de la fundación.....	III
Anexo C. Perfil litológico del estudio de suelos	VII
Anexo D. Análisis de precios unitarios.....	VIII
Anexo E. Caso adicional: Torre de telecomunicacion en Santa Cruz	XXX
PLANOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Torre de telecomunicación reticulada auto soportada	5
Figura 2.2: Relación peso – volumen del suelo	10
Figura 2.3: Tamizador automático	12
Figura 2.4: Ensayo del hidrómetro	13
Figura 2.5: Aparato de Casagrande	15
Figura 2.6: Criterio de rotura de Mohr-Coulomb	18
Figura 2.7: Prueba de corte directo	19
Figura 2.8: Prueba de corte directo	21
Figura 2.9: Ensayo de penetración estándar SPT	21
Figura 2.10: Cuchara de Terzaghi	22
Figura 2.11: Relación entre el número de golpes para 30 cm y ángulo de fricción interna en arenas	22
Figura 2.12: Relación entre la penetración estándar, presión vertical y compacidad relativa en arenas	22
Figura 2.13: Esquema pilote helicoidal	27
Figura 2.14: Faro con pilotes helicoidales	28
Figura 2.15: Hélice y fuste de pilote helicoidal	29
Figura 2.16: Terminación fabricada in situ	30
Figura 2.17: Terminación prefabricada	30
Figura 2.18: Aplicación en muros de contención	30
Figura 2.19: Aplicación en torres	30
Figura 2.20: Instalación manual	32
Figura 2.21: Instalación con maquinaria	32
Figura 2.22: Representación de bulbos de presión	34
Figura 2.23: Relación entre factor de ruptura F_c y h/D	37
Figura 2.24: Relación adimensional U_{cr}	41
Figura 2.25: Resistividad en función a la humedad	43
Figura 2.26: Rangos de pH de los suelos	44
Figura 2.27: Tipos de zapatas	45
Figura 2.28: Factor de corrección por profundidad	47
Figura 2.29: Efecto de fundación en el suelo	47

Figura 2.30: Distribución de tensiones trapezoidal	48
Figura 2.31: Distribución de tensiones triangular	49
Figura 2.32: Cortante en una dirección	50
Figura 2.33: Cortante en dos direcciones	50
Figura 2.34: Momento flector	50
Figura 2.35: Formas de transmisión de capacidad de carga	56
Figura 2.36: Rozamiento negativo	60
Figura 2.37: Distancia d_v en sección circular	64
Figura 2.38: Armadura principal de encepados	66
Figura 3.1: Torre de telecomunicación auto soportada.....	70
Figura 4.1: Transición de secciones en pilotes helicoidales	112
Figura 4.2: Motor gerotor.....	113
Figura 4.3: Instalación de pilotes helicoidales verticales para torre eléctrica Brasil.....	113
Figura 4.4: Instalación de pilotes helicoidales inclinados para torre eléctrica Brasil.....	113
Figura 4.5: Instalación de pilotes helicoidales.....	114
Figura 4.6: Excavado de zapatas con maquinaria.....	114
Figura 4.7: Hormigonado manual	115
Figura 4.8: Tubo tremie.....	117
Figura 4.9: Construcción tradicional de pilotes de hormigón armado	117

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tamaños de tamiz	12
Tabla 2.2: Resistencia a compresión simple en arcillas q_u	23
Tabla 2.3: Eficiencia del martillo η_h	24
Tabla 2.4: Corrección para diámetro de perforación η_b	24
Tabla 2.5: Corrección de muestreo η_s	25
Tabla 2.6: Corrección para longitud de varilla η_r	25
Tabla 2.7: Tipos de fustes	33
Tabla 2.8: Secciones de hélices	33
Tabla 2.9: Factores de capacidad de carga	36
Tabla 2.10: Valores tipos del coeficiente de balasto k_h	41
Tabla 2.11: Tipos de corrosión	42
Tabla 2.12: Tiempo de vida esperada del pilote	43
Tabla 2.13: Grupo de pilotes	60
Tabla 2.14: Rozamiento negativo	61
Tabla 3.1: Cargas a nivel de la fundación mayorados	72
Tabla 3.2: Fuste seleccionado preliminarmente	73
Tabla 3.3: Capacidad de carga a fuste de pilote de hormigón San Antonio	101

INDICE DE ESQUEMAS

Esquema 2.1: Diseño preliminar de pilote helicoidal	32
---	----

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Tabas de clasificación	I
A.1. Tabla de clasificación del sistema AASHTO	I
A.2. Tabla de clasificación del sistema SUCS	II
Anexo B. Cargas a nivel de la fundación	III
Anexo C. Perfil litológico del estudio de suelo	VII
Anexo D. Análisis de precios unitarios	VIII
D.1. Pilote helicoidal San Antonio	VIII
D.2. Zapata aislada de H°A° San Antonio	XII
D.3. Pilote de H°A° San Antonio	XIX
Anexo E. Caso adicional: Torre de telecomunicación en Santa Cruz	XXX
E.1. Pilotes helicoidales	XXXIII
E.1.1. Selección del producto	XXXIII
E.1.2. Dimensiones del pilote helicoidal	XXXIV
E.1.3. Capacidad de carga	XXXV
E.1.4. Torque de instalación	XL
E.1.5. Pandeo	XLI
E.2. Zapatas aisladas de hormigón armado	XLII
E.2.1. Estimación de la base para la zapata	XLII
E.2.2. Profundidad de la fundación	XLIII
E.2.3. Verificación de levantamiento	XLIII
E.3. Pilote de hormigón armado in situ	XLV
E.3.1. Capacidad de carga	XLVI
E.3.2. Diseño del pilote	XLIX
E.3.3. Diseño de la columna	LIII
E.3.4. Diseño de encepado	LIV
E.4. Cómputos métricos	LVI
E.4.1. Precios unitarios	LVII