

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE CIMENTACIONES CON
PILOTES DE ACERO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS
EN SUELOS DE LA SELVA PERUANA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR
FREDDY ARMANDO ÑAUPA RIOS**

**ASESOR
Dr. CESAR ALFREDO FUENTES ORTIZ**

LIMA-PERÚ

2022

© 2022, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Freddy Armando Ñaupá Ríos
freddyarmando904@gmail.com
921869042

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
PRÓLOGO	5
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	8
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. GENERALIDADES.....	11
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.3. OBJETIVO DEL ESTUDIO	11
1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	12
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	14
2.1. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO	14
2.1.1. RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO.....	15
2.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS: PILOTES	15
2.2.1. USO DE PILOTES	16
2.2.2. CLASIFICACIÓN DE PILOTES	17
2.3. ESTIMACION DE CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES	30
2.3.1. MÉTODOS ANALÍTICOS.....	31
2.3.2. MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS	35
2.4. GRUPO DE PILOTES.....	38
2.5. CAPACIDAD DE CARGA ESTRUCTURAL DE PILOTES	40
2.6. HINCABILIDAD DE PILOTES.....	40
2.6.1. MÉTODO DE INSTALACIÓN	40
2.6.2. SELECCIÓN DE EQUIPO DE HINCADO.....	41
2.6.3. FÓRMULA DINÁMICA	45
2.6.4. RESISTENCIA AL HINCADO	47
2.7. FENOMENO DE LICUACION.....	47
2.7.1. COMPORTAMIENTO DEL SUELO DURANTE SISMOS.....	48
2.7.2. EVALUACIÓN DE LICUACIÓN	48
3. CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL SUELO Y ANÁLISIS DE LICUACIÓN	55
3.1. MALL AVENTURA IQUITOS, LORETO	55
3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	55
3.1.2. EVALUACION DE LICUACIÓN	56
3.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	60
3.2. CENTRO COMERCIAL TARAPOTO, SAN MARTÍN	61
3.2.1. CARACTERÍSITICAS DEL SUELO	61

3.2.2.	EVALUACION DE LICUACIÓN	62
3.2.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	65
4.	CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LOS MODELOS DE CIMENTACIÓN	66
4.1.	MALL AVENTURA IQUITOS, LORETO	66
4.1.1.	DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS.....	68
4.1.2.	DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA	70
4.1.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72
4.2.	CENTRO COMERCIAL TARAPOTO, SAN MARTÍN	72
4.2.1.	DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS.....	75
4.2.2.	DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA PLANA....	76
4.2.3.	DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA CÓNICA .	79
4.2.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	81
4.3.	RESUMEN DE RESULTADOS.....	81
5.	CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS	83
5.1.	DISEÑO DE LA PUNTA.....	83
5.2.	HINCADO DE PILOTES	84
5.2.1.	MALL AVENTURA IQUITOS, LORETO	84
5.2.2.	CENTRO COMERCIAL TARAPOTO, SAN MARTÍN	86
5.2.3.	RESUMEN DE RESULTADOS.....	90
5.3.	DISEÑO DE CABEZAL.....	91
6.	CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTOS DE LOS MODELOS DE CIMENTACIÓN.....	95
7.	CAPÍTULO VII: COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOS MODELOS DE CIMENTACIÓN	99
7.1.	COMPARACIÓN TÉCNICA	99
7.2.	COMPARACIÓN ECONÓMICA.....	100
	CONCLUSIONES	101
	RECOMENDACIONES	103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
	ANEXOS	106
	ANEXO A: ANÁLISIS DE LICUACIÓN	106
	ANEXO B: APUS DE PARTIDAS	108
	ANEXO C: APUS DE SUBPARTIDAS.....	115
	ANEXO D: PRESUPUESTOS	117

RESUMEN

El presente trabajo consiste en una comparación técnica-económica entre el uso de pilotes de acero huecos versus pilotes con punta incorporada como cimentaciones en suelos de la selva peruana.

La problemática radica en la dificultad de cimentar estructuras en suelos de la selva peruana: La necesidad emplear cimentaciones muy profundas a causa de las propiedades no ventajosas de los estratos de suelo, en especial, el potencial de licuación; el elevado costo de la fabricación de pilotes de concreto, debido a que dichas zonas tropicales carecen de canteras destinadas a la extracción de agregado grueso. Por ello, se ha hecho convencional el empleo de pilotes de acero, en especial los pilotes flotantes. Sin embargo, estos últimos trabajan por fuste casi en su totalidad, debido a su área de punta muy reducida.

Es así que el presente trabajo de investigación propone demostrar la ventaja de incorporar la punta en los pilotes huecos de acero. Para ello, se diseñó la cimentación de una estructura con pilotes tubulares de acero con punta cónica y con punta plana, y se comparó los resultados con los de una cimentación de pilotes tubulares huecos. Como estructuras se escogió el Centro Comercial de Tarapoto y el Mall Iquitos. El primero yace en una zona con suelo predominante arenoso y poco resistente, y el segundo, en suelo cohesivo muy arcilloso con presencia de arenas.

Se demostró que sí es sumamente favorable la incorporación de punta en los pilotes tubulares de acero, gracias a la capacidad portante incrementada por la punta, que es mayor en suelos friccionantes (Centro Comercial de Tarapoto) que en suelos cohesivos (Centro comercial Mall Iquitos). Asimismo, se demostró que el hincado de los pilotes con punta puede desarrollarse en su totalidad sin llegar al rechazo.

ABSTRACT

The present work consists of a technical-economic comparison between the use of hollow steel piles versus piles with an incorporated tip as foundations in soils of the Peruvian jungle.

The problem settles in the difficulty of cementing structures in Peruvian jungle soils: The need to use of very deep foundations due to the non-advantageous properties of the soil strata, especially the potential for liquefaction; the high cost of manufacturing concrete piles, due to the fact that these tropical areas lack quarries for the extraction of coarse aggregate. For this reason, the use of steel piles, especially floating piles, has become conventional. However, they work almost entirely on the shaft, due to their very small tip area.

Thus, the present research work proposes to demonstrate the advantage of incorporating the tip in hollow steel piles. To do this, the foundation of a structure with tubular steel piles with a conical tip and a flat tip was designed, and the results were compared with those of a hollow tubular pile foundation. As structures, the Tarapoto Shopping Center and Mall Iquitos were chosen. The first lies in an area predominantly sandy and with not very resistant soil, and the second, in very clayey cohesive soil with the presence of sands.

It was shown that the incorporation of a point in tubular steel piles is extremely favorable, thanks to the bearing capacity increased by the tip, which is greater in frictional soils (Tarapoto Shopping Center) than in cohesive soils (Mall Iquitos). Likewise, it was demonstrated that the driving of the piles with tip can be fully developed without reaching rejection.

PRÓLOGO

Esta tesis presenta un análisis sobre la factibilidad y rentabilidad de la incorporación de punta en los pilotes convencionales huecos de acero, con un enfoque en los suelos de la selva peruana.

A lo largo de esta tesis se va desarrollando conceptos referidos al diseño de pilotes, licuación de suelos e hincabilidad de pilotes, todo con un enfoque en el área de geotecnia y construcción. En bases a dichos conceptos, este trabajo logra construir una comparación técnica y económica entre cimentaciones de pilotes huecos vs con punta.

Cabe resaltar que en esta tesis no se considera dentro del análisis el diseño estructural de cimentación, solo diseño geotécnico.

Finalmente, las conclusiones de este trabajo de investigación son presentadas en el último capítulo, donde se resume los resultados de cada capítulo del desarrollo y se comprueba la verosimilitud de la hipótesis.

Dr. Cesar Alfredo Fuentes Ortiz

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de martillo usados para el hincado (Placencia, 2014)	26
Tabla 2. Factores de capacidad de carga - N_q (NAVFAC, 1986)	32
Tabla 3. Coeficientes de presión de tierra KHC y KHT (NAVFAC, 1986)	33
Tabla 4. Ángulo de fricción - δ (NAVFAC, 1986)	33
Tabla 5. Cohesión y Adhesión de suelos según su consistencia (NAVFAC, 1986)	35
Tabla 6. Coeficientes F1 y F2 de Aoki y Velloso (1975).	37
Tabla 7. Valores de k y α de Aoki y Velloso (1975).	38
Tabla 8. Guía rápida para la selección de equipos de conducción de pilas (modificado de un cuadro preparado por G. Barber y W. D. Engle de McKiernan- Terry Corp., Dover, NJ) (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).	42
Tabla 9. Correcciones a SPT (Modificado de Skempton 1986) según lo enumerado por Robertson y Wride	52
Tabla 10. Valores del Factor de escala de magnitud definido por varios autores (Youd and Noble, 1997)	54
Tabla 11. Resultados de Ensayo de Penetración Estándar (SPT) del sondaje W- 07 (M&M, 2019)	56
Tabla 12. Registro de perfil de suelos del sondaje W-07 (M&M, 2019)	57
Tabla 13. Resultados del Análisis de Licuefacción del perfil WB-7 (Fuente: Elaboración Propia)	59
Tabla 14. Resultados de Ensayo de Penetración Estándar (SPT) del sondaje P- 04 (M&M, 2015)	62
Tabla 15. Registro de perfil de suelos del sondaje P-04 (M&M, 2019)	63
Tabla 16. Resultados del Análisis de Licuefacción del perfil P-04 (Fuente: Elaboración Propia)	64
Tabla 17. Valores de Adhesión CA del perfil de suelos Mall Aventura Iquitos.....	67
Tabla 18. Cuadro de resumen de pilotes (Elaboración propia, 2020)	81
Tabla 19. Volumen de acero en la punta (Elaboración propia, 2020)	83
Tabla 20. Cuadro de resumen de martillos a usar (Elaboración propia, 2020)....	90
Tabla 21. Alturas de relleno de concreto "L" (Elaboración propia, 2020).....	92
Tabla 22. Concreto de relleno y acero de anclaje (Elaboración propia, 2020)	93
Tabla 23. Volumen de concreto en las zapatas (Elaboración propia, 2020)	94
Tabla 24. Peso de pilotes (Elaboración propia, 2020)	95
Tabla 25 Cuadrilla de mano de obra (PSV, 2020)	96
Tabla 26 Materiales y equipos para hincado de pilotes (PSV, 2020)	96
Tabla 27. Metrado de cabezales (Elaboración propia, 2020)	97
Tabla 28. Costo directo de las alternativas para el proyecto Mall Iquitos (Elaboración propia, 2020)	97
Tabla 29 Costo directo de las alternativas para el proyecto Centro Comercial Tarapoto (Elaboración propia, 2020)	98
Tabla 30 Resumen de materiales y equipos (Elaboración propia, 2021)	99
Tabla 31 Ventajas y desventajas de pilotes huecos, con punta plana y con punta cónica (Elaboración propia, 2021)	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pilotes de acero (Das, 2001)	18
Figura 2. Diagrama de mecanismo de transferencia de carga (Das, 2001)	22
Figura 3. (a) y (b) pilotes de punta; (c) pilotes de fricción (Das, 2001).....	24
Figura 4. Colocación de pilotes con entubación (Placencia, 2014)	27
Figura 5. Colocación de pilotes con camisa recuperable (Placencia, 2014)	27
Figura 6. Diagrama de esfuerzos de pilotes (Elaboración propia, 2019).	30
Figura 7. Diagrama de pilote individual en suelo granular (NAVFAC, 1986)	32
Figura 8. Diagrama de pilote en suelo cohesivo (NAVFAC, 1986)	34
Figura 9. Factor de capacidad de carga NC (NAVFAC, 1986)	34
Figura 10. Relación CA/C (NAVFAC, 1986)	35
Figura 11. Traslape de capacidad de carga de pilotes en grupo (Urbina, 2004). 38	
Figura 12. Relación representativa entre CSR y el Número de Ciclos para generar Licuación (Elaborado por Seed e Idriss, 1982).	54
Figura 13. Perfil de suelos en perforación WB-07 (Elaboración propia, 2020)	66
Figura 14. Diagrama de presiones en perforación WB-07 (Elaboración propia, 2020)	67
Figura 15. Perfil de suelos en perforación P-04 (Elaboración propia, 2020)	73
Figura 16. Diagrama de presiones en perforación P-04 (Elaboración propia, 2020)	74
Figura 17. Puntas de pilote de acero (Elaboración propia, 2020)	83
Figura 18. Unión de pilote y zapata (Elaboración propia, 2020).....	91
Figura 19. Zapatas (Elaboración propia, 2020).....	93

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- q_p = Esfuerzo en la punta del pilote.
 A_p = Área de punta del pilote.
 q_L = Fricción lateral entre el suelo y el pilote.
 A_L = Área lateral de contacto entre pilotes y suelo.
 Q_{ult} = Capacidad de carga última en compresión
 P_T = Esfuerzo efectivo vertical en la punta del pilote
 N_q = Factor de capacidad de carga (Tabla 2)
 A_T = Área de la punta del pilote
 K_{HC} = Relación de esfuerzo efectivo lateral horizontal a vertical cuando el elemento está sometido a compresión (Tabla 3)
 P_o = Esfuerzo efectivo vertical a lo largo de la longitud de empotramiento, D
 δ = Ángulo de fricción entre el pilote y el suelo (Tabla 4)
 S = Área lateral del pilotes por unidad de longitud.
 C = Cohesión del suelo
 C_A = Adhesión del suelo
 N_{CS} = Factor de capacidad de carga para cimentación cuadrada o cilíndrica
 N_{CC} = Factor de capacidad de carga para cimentación continua
 R = Radio o lado del pilote
 Z = Profundidad de la punta del pilote
 Q_p = Capacidad última por punta del pilote
 N_{60prom} = Número promedio de penetración estándar entre la zona activa y la zona pasiva de la punta del pilote. No debe superar los 50 golpes.
 L = Longitud de empotramiento del pilote (m)
 D = Diámetro del pilote (m)
 r_p = Resistencia a la punta unitaria
 r_L = Resistencia a la fricción unitaria
 k_p = Parámetro de correlación evaluado en la punta del pilote
 N_p = N_{SPT} en la punta
 N_M = N_{SPT} en la parte media del pilote
 ΔL = Intervalo de ejecución del ensayo de penetración dinámica SPT
 F_1, F_2 = Factores de corrección

- k, α = Parámetros de correlación
- η = Eficiencia del grupo.
- $Q_{g(u)}$ = Capacidad última de carga del grupo de pilotes.
- Q_u = Capacidad última de carga de cada pilote sin el efecto del grupo.
- d_s = Separación entre pilotes.
- P_n = Resistencia axial
- F_y = Esfuerzo en fluencia
- A_s = Área de la sección transversal del pilote
- R_u = Resistencia última del pilote, kN
- N = Factor de seguridad
- S_u = resistencia máxima del pilote por unidad de área, kPa. Debe superar los 6200 kPa en pilotes de concreto o 62,000 kPa en pilotes de acero para para que sean aplicables los cálculos posteriores.
- $E_{r\ 10BPI}$ = Energía de impacto nominal mínima del martillo a 4 golpes por centímetro (10 golpes por pulgada) de resistencia, kJ
- $S_{u'}$ = Resistencia máxima al pilote por unidad de área para 8 golpes por centímetro (20 BPI), kPa.
- $E_{r\ 20BPI}$ = Energía de impacto nominal mínima del martillo a 8 golpes por centímetro (20 golpes por pulgada) de resistencia, kJ
- S_{eq} = Golpe equivalente, m.
- E_r = Energía de golpe nominal del martillo, kJ
- m_s = Masa de ariete del martillo, kg
- m_{smin} = Masa mínima del ariete del martillo, kg
- R_{ndr} = Resistencia nominal del pilote medida durante el hincado (kips)
- E_d = Energía del martillo (ft-lb)
- N_b = Número de golpes de martillo por 1.0 pulgada de penetración del pilote (golpes/pulgada)
- s = Penetración permanente del pilote, (pulgada)
- W = Capacidad de carga última del pilote (ton)
- E = Energía del martillo (Kg m)
- R = Peso de la masa percutora
- C = Factor de elasticidad del pilote (mm/m): 0.3 para pilotes de hormigón y acero ó 0.5 para pilotes de madera.
- L = Longitud del pilote (m)
- S = Penetración en el último golpe (mm)

- Q = Peso del pilote (Kg)
- CSR = Esfuerzo de corte cíclico normalizado inducido por el sismo
- $(\tau h)_{ave}$ = Esfuerzo promedio de corte cíclico
- σ'_{o} = Presión efectiva de tapada
- σ_o = Presión total
- a_{max} = Aceleración máxima en la superficie del terreno
- g = Aceleración de la gravedad
- rd = Coeficiente de reducción de las tensiones, que disminuye desde en la superficie del terreno hasta valores muy inferiores a grandes profundidades.
- z = profundidad debajo de la superficie del suelo en metros
- $CRR_{7.5}$ = Esfuerzo cortante cíclico normalizado resistente mínimo que produce licuefacción
- $N_{1(60)}$ = Resistencia a la penetración estándar normalizada
- α, β = Factores de corrección por contenido de finos
- FC = Contenido de finos
- N_m = Resistencia a la penetración estándar medida (SPT)
- C_n = Corrección por tensión vertical debida a la sobrecarga del terreno (factor que normaliza la resistencia a la penetración estándar a una presión efectiva de tapada de 1 Ton/pie²)
- CE = Corrección para la relación de energía del martillo (ER)
- CB = Corrección por el diámetro de la perforación
- CR = Corrección por longitud de barras
- CS = Corrección por muestreador con o sin revestimiento
- FS_L = Factor de Seguridad frente a la Ocurrencia de la Licuefacción
- MSF = Factor de Escala de Magnitud
- CSR = Relación de tensión cíclica calculada generada por el terremoto

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La carencia de canteras destinadas a la extracción de agregado grueso para la fabricación del concreto en la selva peruana presenta una limitación para la construcción de superestructuras que requieren del diseño de cimentaciones profundas.

A ello, se le suma las propiedades no ventajosas de los estratos de suelo, en especial, el potencial de licuación. No resulta conveniente en lo absoluto cimentar los pilotes sobre estos estratos, y ya que se extienden a grandes profundidades, se presenta la necesidad de emplear pilotes de grandes longitudes. Por ello, el uso de concreto en cimentaciones profundas queda descartado, teniendo como alternativa más conveniente el uso de pilotes de acero.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Entrando a la problemática en sí, se ha hecho convencional el uso de pilotes flotantes, tales como huecos tubulares, de sección en H, entre otros. No obstante, estos trabajan casi netamente por fuste, pues su área efectiva de punta se ve muy reducida ya que se tratan de pilotes huecos. Incluso, esta capacidad por fuste se reduce más aún en suelos licuables. Resultaría conveniente incrementar la capacidad de carga en la punta, y, así, su capacidad portante total. Ello implicaría la reducción de ya sea, la cantidad, el diámetro o la longitud de pilotes en una cimentación y, evidentemente, generaría una reducción de costos de proyectos que requieren este tipo de pilotes. Sin embargo, ello no se toma en consideración en diversos proyectos dentro del territorio peruano. Simplemente, se acostumbra a diseñar cimentaciones con pilotes tubulares huecos largos, cuyas grandes dimensiones solo implican una alta suma de inversión en su producción.

1.3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Es por ello que el presente trabajo de investigación sostiene como hipótesis que la incorporación de punta en pilotes huecos tubulares de acero optimizará los costos de proyectos de cimentaciones sobre suelos de la selva peruana. Para ello,

como primer objetivo, se plantea evaluar la influencia de la licuación del suelo, tomando como ejemplo el suelo del proyecto del Centro Comercial de Tarapoto (ubicado sobre suelo arenoso de baja resistencia) y del Mall Iquitos (ubicado sobre suelo cohesivo con predominancia de arcillas y presencia de arenas). Tras ello, como segundo objetivo, se propone diseñar la cimentación de ambas estructuras sobre sus respectivos suelos con pilotes tubulares de acero huecos, con punta plana y con punta cónica. Finalmente, como último objetivo, se desea comparar técnica y económicamente los tres tipos de cimentaciones, y determinar en qué medida resulta conveniente aplicar este incremento de carga por punta en el diseño en ambos tipos de suelos de la selva.

De tal manera, se espera que este trabajo sirva como precedente para futuros proyectos en los que se desee considerar el uso de pilotes con punta en lugar de pilotes flotantes en suelos similares.

1.4. ANTEDECENTES INVESTIGATIVOS

Se ha hecho convencional el uso de pilotes de acero, por lo cual el estudio de su comportamiento estructural y geotécnico ha adquirido mayor interés en investigaciones publicadas en los últimos años. “La facilidad para la hincada y para modificar la longitud de los mismos a través de soldadura de más piezas o corte de las mismas los hace una opción atractiva respecto a los pilotes hincados de sección llena” (Sánchez, 2018).

Se debe tener consideración que en el caso de los pilotes huecos de acero, durante el proceso del hincado se forma un tapón de tierra en el extremo inferior del pilote. “Se debe tratar esta parte del taponamiento del pilote con el suelo, como una carga adicional que actúa en la punta” (Sánchez, 2018). Sin embargo, esta carga adicional no simula una punta en sí, no provee la capacidad portante total de una, y además, durante su formación se presenta muchas incertidumbres aún y se requieren más investigaciones al respecto para llegar a un método de cálculo simplificado para su determinación (Luque, 2011).

Asimismo, otro factor indispensable de considerar en el diseño de cimentaciones profundas, es el fenómeno de licuación o licuefacción. “Ocurre cuando el equilibrio estático es roto por la aplicación de cargas dinámicas, en suelos de baja

resistencia residual, lo que genera un aumento en la presión de poros” (Chang, 2015).

“La contribución del suelo a la resistencia a cargas laterales dentro del sistema en interacción suelo-pilote es menor para el caso de suelos licuables que para el caso de suelos no licuables” (Chang, 2015). Lo anterior se traduce a que la capacidad de carga por fuste, la que supuestamente predomina en este tipo de pilotes, se ve reducida en los estratos licuables. De tal manera, en los suelos con potencial de licuefacción, la capacidad por fuste pierde magnitud, y por ende se requerirá mayor longitud de pilotes.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

Previo a este tipo de cimentación, se priorizaba el uso de cimentaciones superficiales, tales como zapatas corridas. Se comenzó a usar pilotes cuando las capas superiores del suelo no garantizaban capacidad de soportar a la estructura. Primero, se empleó pilotes de madera gracias a la abundancia del material, los cuales se hincaban en conjunto para mayor seguridad. Mientras más aumentaba las cargas de los estructuras, se dio como alternativa el uso de los pilotes de concreto, los cuales resisten esfuerzos mucho mayores. Debido al alto costo de inversión que requiere este tipo de cimentación, se dio mayor énfasis a la estimación de la cantidad suficiente de pilotes y, en tal sentido, se hizo esencial la necesidad de determinar la carga admisible de pilotes (Sánchez, 2018).

La capacidad portante del suelo sirve de “indicador del comportamiento del suelo bajo carga lo que también puede ser utilizado para tomar las precauciones necesarias y un adecuado factor de seguridad, como en el caso de suelos arcillosos o suelos sin cohesión como algunas arenas” (Nij, 2009).

Al igual que la resistencia del material de cimentación, es un factor determinante para el diseño de cimentaciones. Se cuenta con una amplia información acerca de la capacidad de carga o capacidad portante del suelo. Dicha amplitud de información varía entre distintas fuentes, ya sea en los métodos de cálculo y determinación de factores que puede ser por medio del empleo de ecuaciones, gráficas y/o tablas.

Las propiedades del suelo “varía de un lugar a otro, por lo que al conocer sus propiedades pueden estimarse su capacidad admisible, la carga máxima que puede ser soportada y la cimentación adecuada, lo que proporciona un buen margen de seguridad” (Nij, 2009). Resulta poco probable que se disponga de un suelo con las condiciones físico-mecánicas ideales para cimentar, por lo cual conocer estos métodos de estimación de capacidad de carga del suelo cobra una gran importancia en la ingeniería.

Algunos métodos toman como base resultados experimentales, mientras que otros modelos matemáticos, o también de manera mixta. Estas variaciones conllevan a la obtención de resultados que difieren entre sí; la elección del método a emplear depende del criterio del calculista.

2.1.1. RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO

Consiste en “la tensión de corte o cizallamiento sobre un plano determinado en el momento de falla” (Nij, 2009). Como primera propuesta, Coulomb (1736 – 1806), ingeniero francés, argumentó que este fenómeno está vinculado a la fricción generada entre las partículas del suelo. La falla del material se da a cabo cuando el esfuerzo cortante actuante sobre un plano supera una magnitud límite. En ciertos casos, el suelo se comporta como material elástico, produciendo ciertas veces deformaciones considerables superiores a un límite máximo, por lo cual, resulta recomendable que el suelo trabaje bajo un comportamiento plástico.

2.2. CIMENTACIONES PROFUNDAS: PILOTES

Este tipo de cimentaciones “corresponden a un miembro estructural de longitud variable hechos de materiales como madera, acero, hormigón armado, hormigón presforzado o postensando” (Zambrano, 2019). “Son aquellas en las que la relación profundidad /ancho es mayor a cinco (5)” (E.050 Suelos y cimentaciones, 2018).

La presencia de alta compresibilidad y falta de capacidad de soportar cargas transmitidas por estructuras de los estratos superiores de un suelo implica la demanda del uso de cimentaciones profundas, que por lo general se trata de pilotes (Sánchez, 2018).

Tienen la función de “transferir cargas desde la superestructura a través de los estratos de suelo débiles o agua hacia un suelo más compacto o menos compresible o incluso roca” (Ninanya, 2018), que yacen bajo cierta profundidad y cuentan con las características mecánicas suficientes para cimentar el proyecto.

La importancia de estos elementos radica en el mecanismo de transferencia de cargas axiales de compresión o tracción. Dicho mecanismo se intenta definir con precisión bajo diferentes metodologías que se clasifican en función del tipo de suelo y de la carga aplicada.

Este tipo de cimentación implica mayor costo en comparación con las cimentaciones superficiales. La naturaleza de la zona y las condiciones del proyecto determinarán las ventajas y desventajas del uso de los distintos tipos de pilotes.

La incorporación de elementos estructurales permitió la factibilidad de construcción de superestructuras. “A partir de entonces, lo más importante se dirigió a la cantidad de pilotes a usarse, debido al costo que genera su empleo. De esta manera, lo primordial fue determinar la carga admisible de pilotes” (Ninanya, 2018). Esta determinación se da con el fin principal de determinar la cantidad suficiente de pilotes para cumplir satisfactoriamente el fin de cimentar estructuras con la seguridad estructural necesaria, sin necesidad de escatimar en costos.

2.2.1. USO DE PILOTES

Estos elementos se emplean para garantizar la seguridad estructural en circunstancias especiales, por ejemplo:

- La ausencia, en la superficie, de un estrato de suelo capaz de sostener la carga transmitida, es decir, cuando no se dispone de un suelo con características mecánicas que permitan cimentar el proyecto de manera superficial.
- Alta compresibilidad de los estratos superiores.
- Necesidad de disminuir el asentamiento de la edificación.
- Potencial de licuación de suelos, ya sea por la presencia de arenas sueltas o por el nivel freático elevado.
- Cargas muy elevadas o concentradas.
- Existencia de fuerzas horizontales capaces de generar flexión en la cimentación pase a la presencia de fuerzas verticales transmitida por la superestructura.
- Presencia de suelos colapsables.
- Alta permeabilidad del suelo.
- Presencia de suelos expansivos, pues estos crean presiones en la estructura, generando así daños graves. La efectividad de este tipo de cimentación se da cuando alcanzan una profundidad mayor al de la zona activa, “es decir la parte que se contrae y extrae provocando

asentamientos, así se mantiene esta zona inhabilitada para influenciar en la superestructura” (Zambrano, 2019).

- Las cimentaciones de algunas estructuras están sometidas a fuerzas de levantamiento.
- Necesidad de “evitar los daños que puede sufrir una futura excavación a la cimentación de una edificación adyacente; en este caso el pilote lleva la carga de la cimentación debajo del nivel de excavación esperado” (Urbina, 2004).
- Construcción de estructuras marinas: muelles, atracaderos, entre otros.

También se puede utilizar los pilotes para mejorar las condiciones físicas del terreno y sostener el terreno durante los procesos constructivos, es decir, como pantalla de sostenimiento.

2.2.2. CLASIFICACIÓN DE PILOTES

2.2.2.1. Según el material

Los pilotes pueden estar compuestos de diversos materiales: madera, acero, concreto o mixtos.

A) Pilotes de acero

Los pilotes de este material son generalmente fabricados a base de tubos o perfiles H laminados. Estos primeros son hincados en el terreno con sus extremos abiertos o cerrados. También se usan vigas de acero de patín ancho y de sección I; no obstante, hay mayor afinidad con los perfiles H, debido a la igualdad de espesor de sus almas con sus patines (Urbina, 2004).

Los pilotes de acero son cada vez más empleados en el rubro de la construcción. “La facilidad para la hinca y para modificar la longitud de los mismos a través de soldadura de más piezas o corte de las mismas los hace una opción atractiva respecto a los pilotes hincados de sección llena” (Sanchez, 2018). Soportan cargas elevadas y pueden ser hincados en suelos duros gracias a su alta resistencia y ductilidad. Asimismo, su resistencia a la tracción resulta ser la más

alta entre todos los tipos de pilotes, siendo así los ideales para ser sometidos a grandes cargas de tracción.

Constituyen una alternativa viable cuando se requiere una longitud mayor a los 18m, ya que son prácticos de unir. Para ello, se hinca la primera sección, la cual luego se suelda con la siguiente y se continúa hincando. Dicha operación puede ser agilizada con el empleo de ciertos empalmes especiales de acero (Urbina, 2004), tales como se puede apreciar en la Figura 1.

Su alta rigidez y capacidad estructural, propias de este material, puede ser elevados con el llenado de las secciones tubulares necesarias con hormigón.

Como desventajas, se tiene su elevado costo, el ruidoso proceso de hincado que implica y su alta vulnerabilidad a la corrosión.

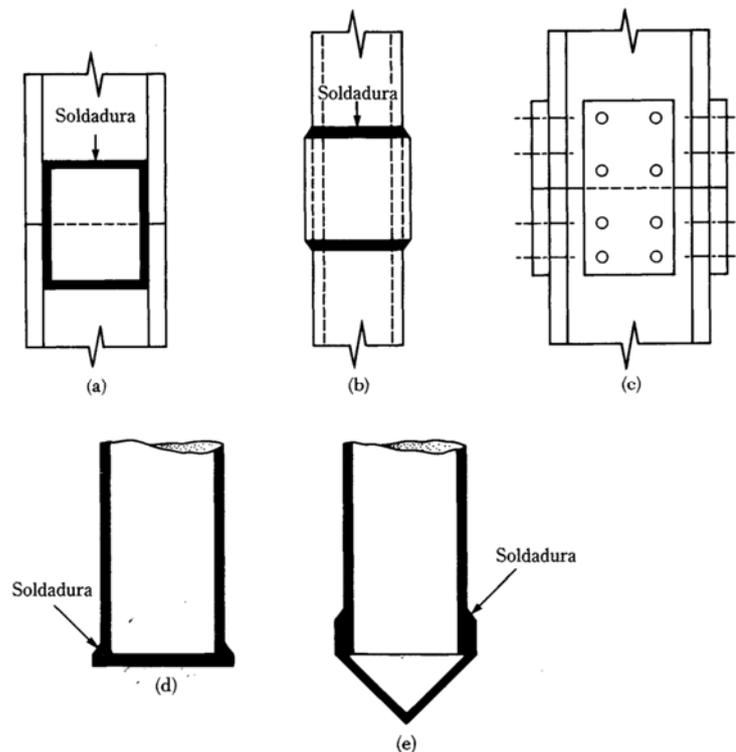


Figura 1. Pilotes de acero (Das, 2001)

Donde:

(a) empalme de pilotes H con soldadura; (b) empalme de pilotes de tubo con soldadura; (c) empalme de pilotes H con remaches y tornillos; (d) punta plana de hincado de pilotes de tubo; (e) punta cónica de hincado de pilote de tubo

B) Pilotes de concreto

Consisten en los elementos estructurales de cimentación más usados en el mundo. Están compuestos de concreto reforzado y se clasifican en dos tipos: vaciados in situ y prefabricados, cuyos usos dependen básicamente del tipo de construcción y de sus dimensiones. Su sección transversal es generalmente cuadrada y soportan cargas axiales de 450 a 3500 KN (Urbina, 2004).

Respecto a los pilotes vaciados in situ, su proceso constructivo requiere el uso de camisas metálicas o fluidos para mantener firme del terreno y evitar su desmoronamiento. En el caso de las camisas metálicas, extraer en paralelo al vaciado de concreto, si las condiciones lo permiten, o simplemente dejar en el terreno. Por otro lado, los fluidos cumplen el mismo fin: prevenir el colapso del terreno. Convencionalmente se usa lodos bentoníticos; así también es común usar lechada de cemento u otros polímeros.

Para ambos casos, se requiere la extracción del suelo antes de la instalación del concreto, para lo cual se puede usar barreno u otros instrumentos. No obstante, existe cierto tipo de pilotes vaciados in situ, llamados pilotes Franki, que no requieren una excavación previa, "pues la instalación de su camisa de protección se realiza por un proceso de hincado que compacta el terreno ya que esta tiene en su base un tapón que será expulsado una vez alcanzada la profundidad requerida" (Rodríguez & Tarpoco, 2015).

Por otro lado, los pilotes prefabricados deben reforzarse de tal manera que puedan soportar su transporte e hincado para su respectiva instalación. Pueden ser pretensados, los cuales permiten, además de incrementar la resistencia frente a esfuerzos de flexión y compresión, mitigar las grietas generadas por su manipuleo e hincado. "El pretensado es una mejor opción que el potenzado porque permite el corte de los pilotes, si fuera necesario, sin afectar la fuerza del pretensado" (Urbina, 2004).

Como desventaja, frente a altas concentraciones de magnesio o sulfato de sodio, el concreto sufre un deterioro considerable, y en menor proporción cuando se trata de concreto pretensado. Ante esta problemática, para la fabricación de estas estructuras de concreto resulta conveniente usar "cemento portland tipo V (bajo contenido de aluminato tricálcico <5%) tal como indica la Norma E.060 de

Concreto armado, lo cual proporcionará una alta durabilidad ante incendios y exposición ante las sustancias ya mencionadas (Rodríguez & Tarpoco, 2015).

Otra desventaja de estos pilotes, a diferencia del acero, radica en su baja tolerancia ante condiciones exigentes de hincado, lo cual incrementa la probabilidad de daños severos. Pese a ello, los pilotes de concreto siguen siendo los más populares por ser los más baratos en comparación con los pilotes de acero.

C) Pilotes de madera

Consisten en troncos de árboles sin ramas ni corteza, y debe ser recta, sana y sin defectos para calificar como pilotes. Son los pilotes más simples, baratos y los más antiguos en el mundo. Su longitud está limitada por la altura de los árboles, teniendo una longitud máxima entre los 10 y 20 metros (Urbina, 2004).

Son propensos a sufrir daños considerables al soportar elevados esfuerzos de hincado. Ello se puede reducir con un revestimiento de acero como reforzamiento en la punta del pilote. “Debido a este problema, la carga que soporta es limitada en 25 toneladas o menos” (Rodríguez & Tarpoco, 2015). Asimismo, la parte superior también se encuentra propensa a daños durante el hincado. Frente a ello, se recomienda el empleo de un capuchón o cabezal.

Es por ello que durante su manipuleo se debe procurar trabajar con sumo cuidado para prevenir golpes o esfuerzos de flexión, esto con mayor énfasis en los pilotes previamente tratados. Pese a ello, se puede rescatar que son bastante “fáciles de manejar y cortar antes y después de su instalación, además de la indefinida vida que pueden tener en caso que las condiciones de exposición sea favorables” (Rodríguez & Tarpoco, 2015).

Este tipo de pilotes “permanecerán indefinidamente sin daño si están rodeados de suelo saturado. Sin embargo, en un ambiente marino, están sometidos al ataque de varios organismos y pueden ser dañados considerablemente en pocos meses” (Urbina, 2004). Sobre el nivel freático, los pilotes generalmente son vulnerables a insectos; las termitas tienden a provocar la destrucción de este material. El uso de preservadores, por ejemplo la creosota, u otro tipo de revestimiento evitará su descomposición, permitiendo aumentar el tiempo de vida de estos elementos de

cimentación. Asimismo, como otra desventaja, están propensos a una inminente putrefacción en zonas de saturación o variación del nivel freático.

El Manual of practice, No. 17 de la American Society of Civil Engineers subdivide los pilotes de madera en tres clases (Rodríguez & Tarpoco, 2015):

- Pilotes clase A: soportan cargas pesadas y su diámetro del fuste debe ser mayor a los 356 mm.
- Pilotes clase B: soportan cargas medias y su diámetro mínimo del fuste debe oscilar entre los 305 y 330 mm.
- Pilotes clase C: usados en trabajos provisionales y de manera permanente cuando yace en toda su longitud debajo del nivel freático. El diámetro fuste no puede ser inferior a los 305 mm.

Dentro del territorio peruano, los pilotes de madera son de uso muy común en las zonas de selva y ceja de selva, donde se cuenta con una gran gama de clases de madera, además, predomina un suelo heterogéneo “conformado por arcillas, limos y arenas, razón por la cual existe una gran posibilidad de licuefacción en él” (Rodríguez & Tarpoco, 2015), y donde los sismos se manifiestan en magnitud sumamente atenuada.

D) Pilotes compuestos

Existen dos tipos de este tipo de pilotes:

- Los constituidos por secciones de distintos materiales. Se fabrican pilotes de acero y concreto o de madera y concreto. Los primeros consisten en una sección inferior de acero y en la superior de concreto in situ. Se usa cuando se requiere una longitud, necesaria para lograr un apoyo óptimo supera la capacidad de los pilotes simples de concreto. Por otro lado, los de madera y concreto se construyen en casos de la presencia de un nivel permanente de agua. De tal manera, se puede disponer de la sección de madera en la zona inferior a dicho nivel. Sin embargo, este tipo de pilote ha dejado de ser usado debido a la dificultad y a la alta inversión que implica efectuar las uniones.

- Los conformados por un relleno, ya sea de concreto, arena o grava, cubierto por forros, tubos o ademes. La elección del material depende de las condiciones del suelo.

También existen pilotes compuestos de acero y plástico. El tubo de acero se encuentra cubierto por un revestimiento de plástico, la cual está conformada por material reciclado. Esta innovación tecnológica ha denotado eficiencia en contacto con el agua, pues su resistencia ante la putrefacción, abrasión y organismos marinos, le permite ser una mejor elección en comparación a la madera.

2.2.2.2. Según la forma de trabajo o mecanismo de transferencia de carga

El mecanismo de transferencia de carga desde un pilote al suelo se da a través de dos fases. Una parte es resistida por la fricción lateral que se produce a lo largo de la sección lateral del pilote, la cual es denominada como capacidad por fuste. Por otro lado, la segunda parte se da en la punta, la cual “al tener contacto con el suelo, crea un mecanismo parecido al de un cimiento con una área de influencia en el suelo que se traslada directamente al estrato resistente” (Zambrano, 2019); sin embargo, para este caso, se produce una falla en modo de punzonamiento cuando se somete la carga última del pilote.

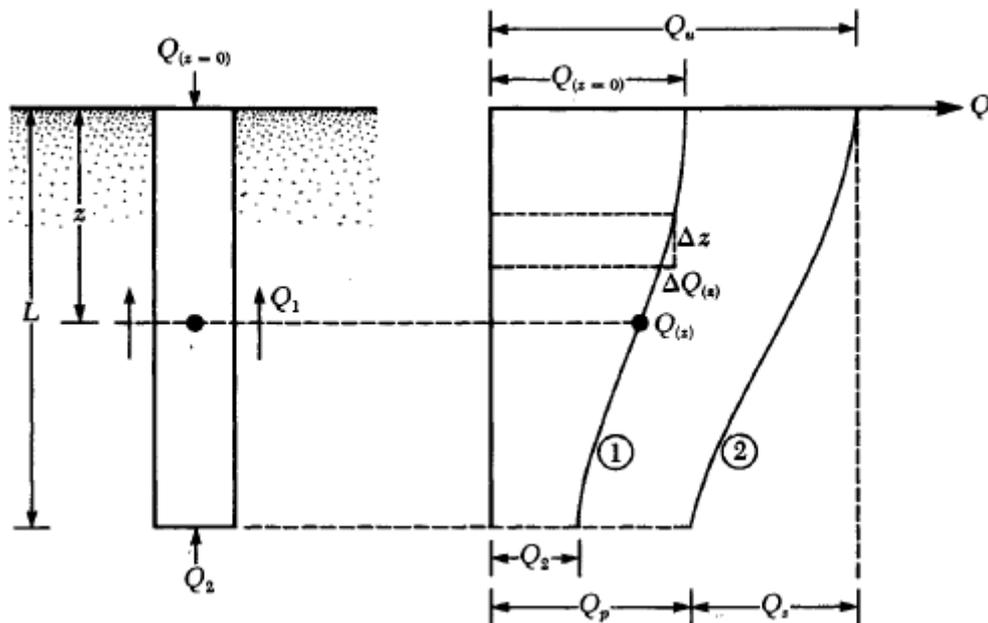


Figura 2. Diagrama de mecanismo de transferencia de carga (Das, 2001)

Es indispensable conocer cómo funciona este mecanismo de transferencia de carga para poder estimar la longitud del pilote adecuada en relación con perfil estratigráfico del suelo.

Por un lado, se diseña el pilote con una resistencia predominante en la punta, cuando se desea que la capacidad última de este dependa casi en su totalidad del estrato sobre el que se asienta la punta del pilote. De tal manera, la longitud es dependiente de la profundidad donde yace el estrato resistente.

Por otro lado, cuando a una profundidad donde se cumpla las consideraciones constructivas y económicas del proyecto, no se encuentra un estrato de suelo resistente, se procede a diseñar el pilote de manera que la carga transferida sea resistida predominantemente por el fuste. Ello se da a cabo por lo general en la presencia de suelos arcillosos, los cuales ejercen un esfuerzo de cohesión en el área lateral del pilote en oposición a la carga axial transmitida a lo largo del pilote por superestructura.

A) Pilotes por fuste

Son también denominados pilotes “flotantes”. Transmiten su carga al terreno a través del fuste cuando su longitud no alcanza un estrato suficientemente resistente. En este caso los pilotes de punta resultarían largos y, por ende, poco económicos (Quinga, 2017). Se usa por lo general en suelos arcillosos (cohesivos), donde la capacidad de carga por punta es relativamente pequeño (Das, 2001).

B) Pilotes por punta

Cuando se dispone de la presencia de roca o material rocoso a una profundidad accesible a la extensión de los pilotes, siendo su capacidad última predominantemente dependiente de la capacidad de carga del material subyacente (Placencia, 2014).

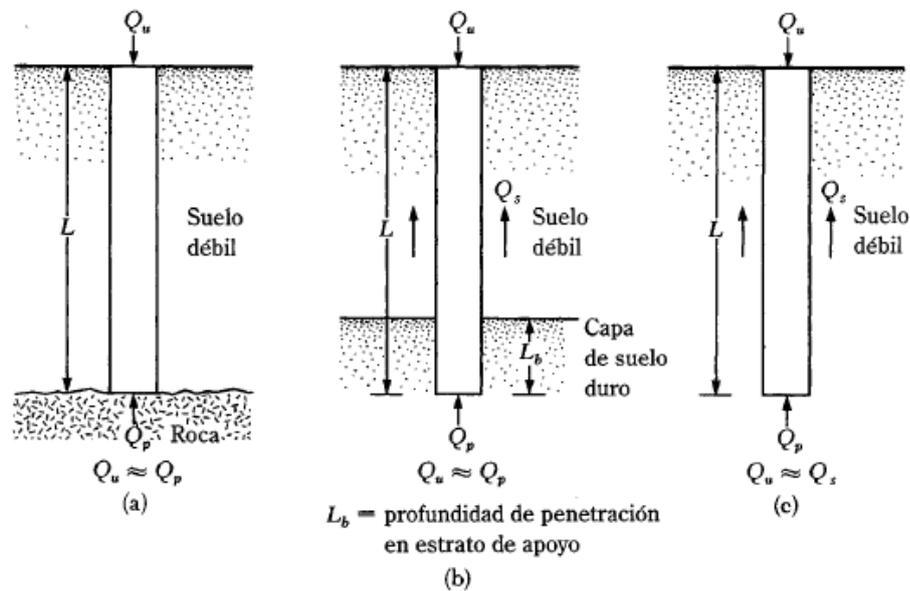


Figura 3. (a) y (b) pilotes de punta; (c) pilotes de fricción (Das, 2001).

C) Pilotes de compactación

Según Das (2001), se trata de “pilotes que se hincan en suelos granulares para lograr una compactación apropiada del suelo cercano a la superficie del terreno”. Su longitud depende de:

- La compacidad relativa del suelo antes de la compactación
- La compacidad relativa deseada del suelo después de la compactación
- La profundidad requerida de compactación

2.2.2.3. Según el sistema de construcción

Según la instalación, los pilotes pueden clasificarse en:

A) Pilotes hincados

Son elementos rectos de madera, concreto armado, concreto pretensado o acero que se hincan en el suelo con el uso de gatos hidráulicos roscados al suelo y martillos que les permiten atravesando suelos blandos hasta lograr empotrarse a una profundidad determinada.

Pueden ser hincados por medio de:

- Vibración
- Percusión con golpes de maza

“Debido a su forma de instalación, a veces se les denomina también pilotes de desplazamiento, ya que a medida que penetran en el terreno han de desplazar suelo que ocupaba su lugar” (Placencia, 2014).

Por lo general, se requiere el uso de estos pilotes por las siguientes ventajas:

- Se puede modificar su longitud con facilidad: se puede reducir el tamaño mediante corte y aumentarlo mediante el soldeo de tramos sucesivos unidos con juntas cuya resistencia ante comprensión, tracción y flexión debe superar a la del pilote. “En caso de construirse un pilote aislado este debe estar bien arriostrado en sus dos direcciones ortogonales con el fin de no producir momentos (Placencia, 2014).
- Se puede evitar el ingreso de agua subterránea con el uso de tubo con un extremo cerrado.
- Se puede formar una base agrandada (Urbina, 2004).

No obstante, se debe reconocer también las siguientes desventajas al considerar el uso de estos pilotes:

- El manipuleo e hincado del pilote puede generar daños en este, pues por lo general el material no está diseñado para soportar los esfuerzos que implica su instalación.
- El pilote incurre en la posibilidad de someterse a desgaste o estrechamiento por los esfuerzos del suelo.
- El desplazamiento del suelo generado durante el hincado puede causar el levantamiento de los pilotes adyacentes.
- La longitud de los pilotes está limitado por las condiciones del suelo: hasta cierto limita el terreno presenta rechazo al hincado en la mayoría de los tipos.

- La presencia de agua artesiana puede debilitar el fuste de concreto cuando fluye hacia el exterior de éste.
- El ruido y la vibración tienen a generar molestias, o inclusive, sumado al desplazamiento del suelo, causar a estructuras contiguas.
- Los diámetros muy grandes dificultan y hasta imposibilitan el hundimiento del pilote en el terreno.
- Los espacios muy confinados generan condiciones desfavorables para el hincado

“En su mayoría los pilotes son hincados en el terreno a través de martinetes o dispositivos vibratorios, chorros de agua o barrenado parcial depende las circunstancias” (Placencia, 2014). Estos martinetes o martillos se clasifican tal como muestra la Tabla 1:

Tabla 1: Tipos de martillo usados para el hincado (Placencia, 2014)

Elemental	Caída Libre
Acción simple	Vapor Neumáticos
Doble acción	Diferenciales Vapor Neumáticos Hidráulicos
Diesel	Abiertos Cerrados
Vibratorios	Baja frecuencia, mayor de 40 Hz Alta frecuencia, mayor de 140 Hz
Vibratorios impacto	-

B) Pilotes hincados y vaciados in situ

Sin tubo recuperable

“Se introduce permanentemente en el terreno un tubo de pared delgada ondulada y reforzada, de forma cilíndrica o troncocónica, y se llena de concreto armado o sin armar” (Placencia, 2014). Ya instalado, se procede a colocar un núcleo sin funcionamiento estructural en el hueco con la finalidad de prevenir su deformación generada por la presión el suelo.

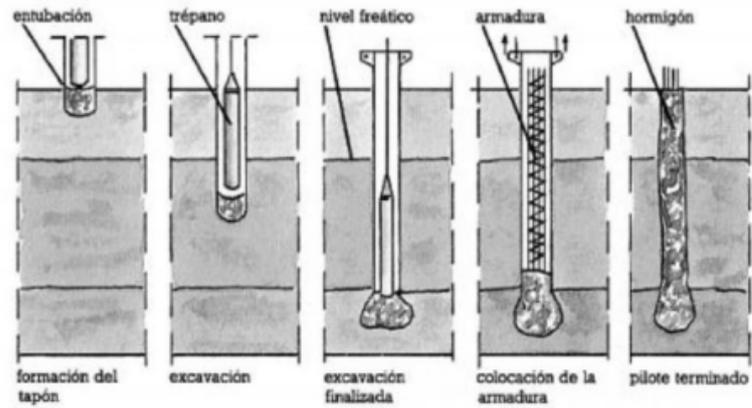


Figura 4. Colocación de pilotes con entubación (Placencia, 2014)

Una ventaja evidente es la protección del tubo al concreto frente al posible contacto con sustancias corrosivas presentes en suelos agresivos o con agua subterránea.

Como desventaja, se tiene que requieren de un costo mayor al de los pilotes con tubo o camisa recuperable.

Con tubo recuperable

En este caso, el tubo hincado en el terreno por vibración se va extrayendo durante el vaciado de concreto, “lo cual le permite ser reusable en nuevos pilotes, resultando menos costosos que los pilotes con tubo permanente” (Placencia, 2014).

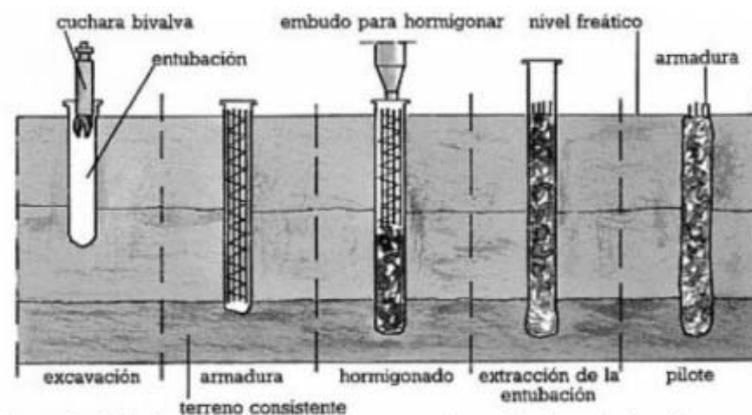


Figura 5. Colocación de pilotes con camisa recuperable (Placencia, 2014)

Los pilotes más usados son:

- Pilotes Simplex
- Pilotes Express
- Pilotes Vibro
- Pilotes Franki

Por tratarse de pilotes hincados, presenta las siguientes ventajas:

- Se puede modificar su longitud con facilidad mediante corte y soldeo.
- Se puede evitar el paso de agua subterránea con el uso de tubo de extremo inferior cerrado.
- En la mayoría de los tipos, se puede formar una base agrandada

Como desventajas, en adición a las mencionadas en los pilotes hincados, se tiene lo siguiente:

- El desplazamiento del suelo generado durante el hincado puede causar el levantamiento de los pilotes adyacentes y, en el caso correspondiente, afectar el concreto de estos mismos pilotes.

C) Pilotes perforados y vaciados in situ

“Se ejecutan realizando una excavación del diámetro y longitud necesarias, en la cual se introduce la armadura de acero adecuada para, finalmente rellenar el hueco con hormigón” (Placencia, 2014). Su instalación implica la extracción de un volumen de suelo, por lo cual se les denomina también como Pilotes de Sustitución. Asimismo, por dicha necesidad de excavación, este tipo de pilotes depende estrechamente de las condiciones del terreno y nivel freático.

Según Placencia (2014), se clasifica en los siguientes:

- Pilotes de desplazamiento con azuche
- Pilotes de desplazamiento con tapón de gravas
- Pilotes de extracción con entubación recuperable
- Pilotes de extracción con camisa perdida
- Pilotes de extracción con lodos tixotrópicos
- Pilotes barrenados sin entubación

- Pilotes barrenados
- Hormigonados por el tubo central de la barrena
- Pilotes de desplazamiento por rotación

Los pilotes pueden ser instalados con diversos equipos, por ejemplo:

- Cucharas o barrenas helicoidales cortas especiales: Se usa solo cuando el suelo es suficientemente estable ante la perforación.
- Hélice: Cuando no se garantiza la debida estabilidad del suelo ante la perforación, se adiciona en las paredes lodos tixotrópicos, que consiste en una mezcla de agua con arcilla bentónica usada para evitar derrumbes.
- Barrenos: “El eje de la barrena la cual desplaza el terreno triturado se introduzca mortero de manera que al mismo tiempo que se hormigón se va extrayendo la barrena y finalmente se coloca las armaduras en el hormigón fresco” (Placencia, 2014).

A diferencia de los pilotes hincados, no genera levantamiento de suelo. Todo ese suelo removido en la perforación puede ser empleado para una inspección, para lo cual se deberá muestrear y llevara a laboratorio o someter a pruebas in situ. Asimismo, por no requerir de una instalación por medio de golpes, como los pilotes hincados, su instalación no necesita de gran altura libre.

Como otras ventajas, Urbina (2004) enumera las siguientes:

- Pueden ser de diámetros y longitudes grandes.
- Pueden ser alargados de hasta dos o tres diámetros en suelos arcillosos.
- El manipuleo y colocación del pilote no es un factor determinante del material del mismo.
- Su instalación no emite ruido, ni vibración considerables.

Por otro lado, también enlista las siguientes desventajas:

- En suelos “exprimibles, son propensos a someterse a desgaste o “estrechamiento”.
- No puede inspeccionar el concreto luego de su instalación.

- Se puede generar el lavado del cemento por el agua bajo presión artesiana que tiende a empujar el cuerpo del pilote.
- La perforación puede alterar el estado natural de los suelos granulares (arenas y gravas). Para estos casos se recomienda emplear lodos bentoníticos, los cuales permitirán estabilizar el suelo.
- La presencia de suelos no cohesivos no permite la instalación de pilotes con extremos alargados.

2.3. ESTIMACION DE CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES

El cálculo convencional de la capacidad de carga del pilote (Q_{ult}), tal como se presenta en la Ecuación 1, “considera como la suma de la resistencia en la punta (Q_P) y resistencia a la fricción (Q_L) que se da a partir de la aplicación de una carga progresivamente aumentada” (Ninanya, 2018). Ello se ilustra en la Figura 6:

$$Q_{ult} = Q_P + Q_L = q_p A_P + q_L A_L$$

Ecuación 1

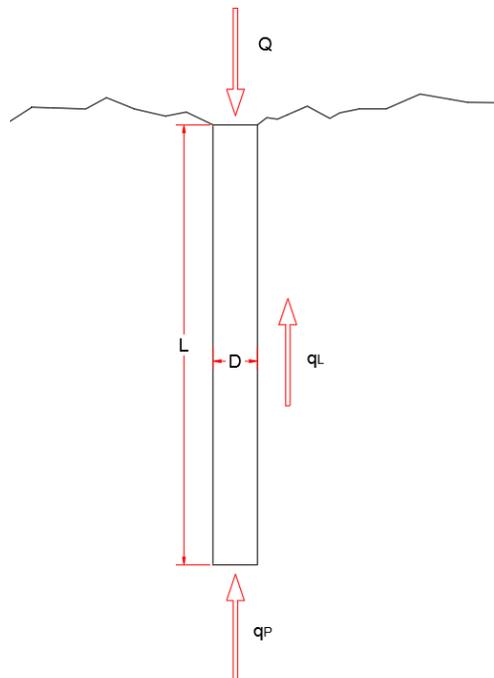


Figura 6. Diagrama de esfuerzos de pilotes (Elaboración propia, 2019).

Donde:

- q_p = Esfuerzo en la punta del pilote.
- A_p = Área de punta del pilote.
- q_L = Fricción lateral entre el suelo y el pilote.
- A_L = Área lateral de contacto entre pilotes y suelo.

“Dentro de esas metodologías se encuentran los métodos teóricos, semi-empíricos, así como los métodos numéricos” (Ninanya, 2018).

2.3.1. MÉTODOS ANALÍTICOS

Como método íntegramente teórico, se tiene el publicado en el manual de NAVFAC (1986). Este, determina el valor de la capacidad de carga de pilotes de manera independiente en suelos granulares y en suelo arcillosos.

2.3.1.1. Suelos granulares

La capacidad de carga última en compresión se define con la Ecuación 2 y se ilustra en la Figura 7:

$$Q_{ult} = P_T N_q A_T + \sum_{H=H_0}^{H=H_0+D} (K_{HC})(P_0)(\text{TAN } \delta)(S) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- Q_{ult} = Capacidad de carga última en compresión
- P_T = Esfuerzo efectivo vertical en la punta del pilote
- N_q = Factor de capacidad de carga (Tabla 2)
- A_T = Área de la punta del pilote
- K_{HC} = Relación de esfuerzo efectivo lateral horizontal a vertical cuando el elemento está sometido a compresión (Tabla 3)
- P_0 = Esfuerzo efectivo vertical a lo largo de la longitud de empotramiento, D
- δ = Ángulo de fricción entre el pilote y el suelo (Tabla 4)
- S = Área lateral del pilotes por unidad de longitud.

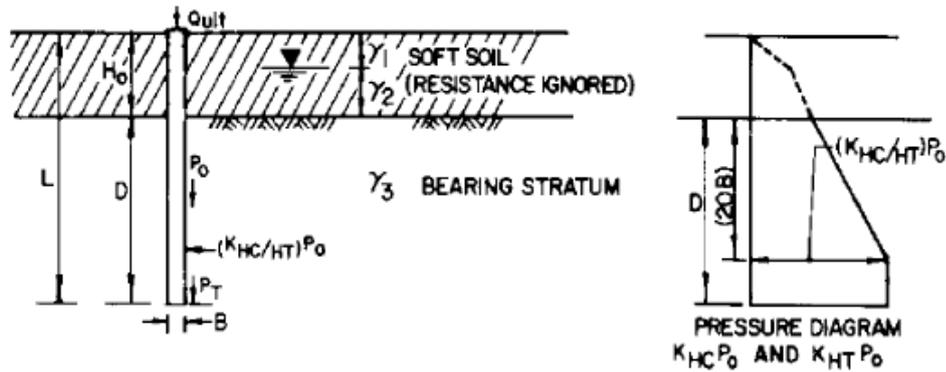


Figura 7. Diagrama de pilote individual en suelo granular (NAVFAC, 1986)

El esfuerzo de punta y de fuste aumentan con esfuerzo efectivo vertical P_0 hasta una profundidad empotramiento límite, por lo cual, estos esfuerzos dependen de la densidad del suelo y de la profundidad del nivel freático. Por debajo de dicha profundidad límite, el aumento en la fricción lateral es directamente proporcional al área de la superficie de la pila. Por tanto, si D es mayor que $20B$, P_0 en la punta del pilote limita a ese valor correspondiente a $D = 20B$ (NAVFAC, 1968).

Para el cálculo de Q_{adm} , según la publicación en NAVFAC (1968) se usa un factor de seguridad de 2 para cargas temporales y de 3 para cargas permanentes. Si las condiciones del suelo, en suma a las cargas de construcción están bien documentadas, se puede usar un factor de seguridad menor que no sea inferior a 2.0. Para ello, se debe verificar que la capacidad de la pila se verifique mediante pruebas de carga.

Tabla 2. Factores de capacidad de carga - N_q (NAVFAC, 1986)

ϕ	N_q (PILOTE HINCADO)	N_q (PILOTE EXCAVADO)
26 °	10	5
28 °	15	8
30 °	21	10
31 °	24	12
32 °	29	14
33 °	35	17
34 °	42	21
35 °	50	25
36 °	62	30
37 °	77	38
38 °	86	43
39 °	120	60
40 °	145	72

Tabla 3. Coeficientes de presión de tierra K_{HC} y K_{HT} (NAVFAC, 1986)

TIPO	K _{HC}	K _{HT}
PILOTE HINCADO SECCIÓN H	0.5 – 1.0	0.3 – 0.5
PILOTE DE DESPLAZAMIENTO	1.0 – 1.5	0.6 – 1.0
PILOTE DE DESPLAZAMIENTO DE SECCIÓN CÓNICA	1.5 – 2.0	1.0 – 1.3
PILOTE LANZADO	0.4 – 0.9	0.3 – 0.6
PILOTE PERFORADO (D<24")	0.7	0.4

Tabla 4. Ángulo de fricción - δ (NAVFAC, 1986)

MATERIAL	δ
ACERO	20 °
CONCRETO	3/4 ∅
MADERA	3/4 ∅

2.3.1.2. Suelos cohesivos

La capacidad de carga última en compresión se define con la Ecuación 3 y representa en la Figura 8:

$$Q_{ult} = C(N_{CS})\pi R^2 + C_A 2\pi RZ \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- Q_{ult} = Capacidad de carga última en compresión
- C = Cohesión del suelo
- C_A = Adhesión del suelo
- N_{CS} = Factor de capacidad de carga para cimentación cuadrada o cilíndrica
- N_{CC} = Factor de capacidad de carga para cimentación continua
- R = Radio o lado del pilote
- Z = Profundidad de la punta del pilote

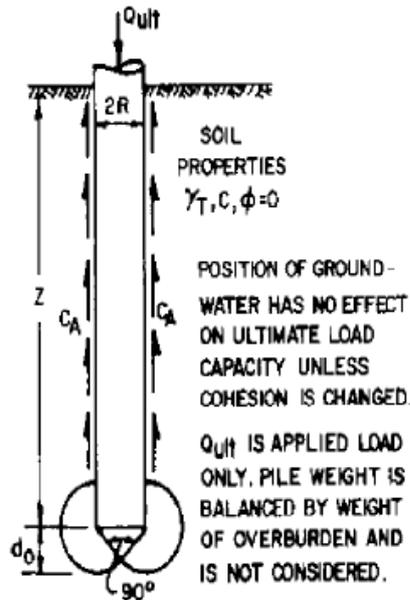


Figura 8. Diagrama de pilote en suelo cohesivo (NAVFAC, 1986)

El factor de capacidad de carga, N_c , depende de la relación profundidad/ancho, Z/B o $Z/2R$ y del tipo de cimentación: cuadrada o cilíndrica (NCS) o cimentación continua (NCC), tal como se aprecia en la Figura 9:

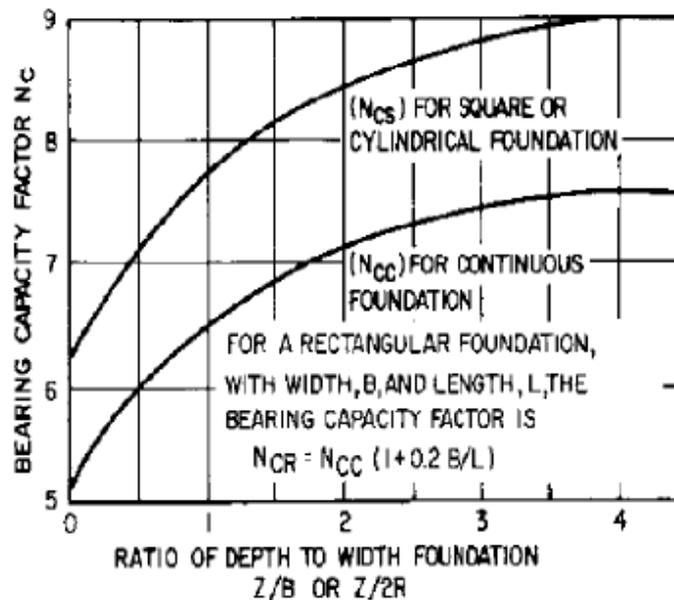


Figura 9. Factor de capacidad de carga N_c (NAVFAC, 1986)

Los valores de adhesión guardan una relación variable con los valores de la cohesión del suelo, la cual está definida gráficamente en la Figura 10, y distribuida en rangos en la Tabla 5:

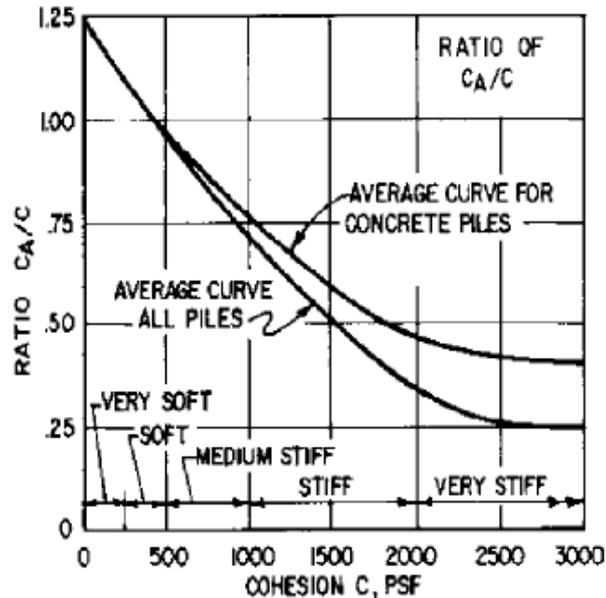


Figura 10. Relación CA/C (NAVFAC, 1986)

Tabla 5. Cohesión y Adhesión de suelos según su consistencia (NAVFAC, 1986)

TIPO DE PILOTE	CONSISTENCIA DEL SUELO	COHESIÓN, C (PSF)	ADHESIÓN, CA (PSF)
MADERA Y CONCRETO	MUY BLANDO	0 - 250	0 - 250
	BLANDO	250 - 500	250 - 480
	MEDIANAMENTE BLANDO	500 - 1000	480 - 750
	DURO	1000 - 2000	750 - 950
	MUY DURO	2000 - 4000	950 - 1300
ACERO	MUY BLANDO	0 - 250	0 - 250
	BLANDO	250 - 500	250 - 460
	MEDIANAMENTE BLANDO	500 - 1000	460 - 700
	DURO	1000 - 2000	700 - 720
	MUY DURO	2000 - 4000	720 - 750

2.3.2. MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS

Estos métodos están basados básicamente en resultados de pruebas in situ, generalmente en los ensayos SPT. Entre ellos se puede destacar la formulación de Meyerhof y el Método de Aoki y Velloso:

2.3.2.1. Método de Meyerhof

Meyerhof, además de su método teórico para estimar la carga de pilotes, también propone que la capacidad de carga por punta en suelos granulares aumenta a mayor longitud de empotramiento hasta que su resistencia unitaria de fuste alcanza su valor límite de $0.4 N_{60}$ (MN/m²) (Gavidia, 2019). Ello se indica en la Ecuación 5:

$$Q_p = q_p \cdot A_p \quad \text{Ecuación 4}$$

$$q_p = 0.04 \cdot N_{60prom} \cdot \frac{L}{D} \leq 0.4 \cdot N_{60prom} \left(\frac{MN}{m^2} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- Q_p = Capacidad última por punta del pilote
- q_p = Resistencia unitaria en la punta (MN/m²)
- A_p = Área de punta del pilote (m²)
- N_{60prom} = Número promedio de penetración estándar entre la zona activa y la zona pasiva de la punta del pilote. No debe superar los 50 golpes.
- L = Longitud de empotramiento del pilote (m)
- D = Diámetro del pilote (m)

2.3.2.2. Método de Aoki y Velloso

Aoki y Velloso en 1975 plantearon una ecuación para determinar la capacidad de carga de distintos tipos de pilotes para ensayos de penetración dinámica SPT. Esta está definida en la Ecuación 6:

$$P_{ult} = A_p \frac{r_p}{F1} + U \sum \frac{r_L}{F2} \Delta L \quad \text{Ecuación 6}$$

$$r_p = k_p \cdot N_p \quad \text{Ecuación 7}$$

$$r_L = \alpha \cdot k \cdot N_M \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- r_P = Resistencia a la punta unitaria
- r_L = Resistencia a la fricción unitaria
- A_P = Área de punta del pilote
- k_P = Parámetro de correlación evaluado en la punta del pilote
- N_P = N_{SPT} en la punta
- N_M = N_{SPT} en la parte media del pilote
- ΔL = Intervalo de ejecución del ensayo de penetración dinámica SPT
- F1, F2 = Factores de corrección
- k, α = Parámetros de correlación

Se basaron de los resultados de ensayos de penetración dinámica o estática, de las características del suelo, del nivel freático, etc. F1 y F2 corresponden a factores de corrección que dependen del tipo del pilote, cuyos valores se pueden apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6. Coeficientes F1 y F2 de Aoki y Velloso (1975).

TIPO DE PILOTE	F1	F2
FRANKI	2.50	5.00
ACERO	1.75	3.50
CONCRETO	1.75	3.50
STRAUSS	1.70	3.00
PRE-MOLDEADO	1.75	3.50
EXCAVADO	3.50	7.00

“Originalmente la metodología trabajaba tan solo con ensayos de penetración estática CPT” (Ninanya, 2017). No obstante, en pro a la aplicabilidad de los ensayos SPT, crearon parámetros de correlaciones, k y α , en función al tipo de suelo, cuyos valores se pueden apreciar en la Tabla 7:

Tabla 7. Valores de k y α de Aoki y Velloso (1975).

TIPO DE SUELO	k (Mpa)	α (%)
Arena	1.00	1.40
Arena limosa	0.80	2.00
Arena limosa-arcillosa	0.70	2.40
Arena arcillosa	0.60	3.00
Arena arcillosa-limosa	0.50	2.80
Limo	0.40	3.00
Limo arenoso	0.55	2.20
Limo arenoso-arcilloso	0.45	2.80
Limo arcilloso	0.23	3.40
Limo arcilloso-arenoso	0.25	3.00
Arcilla	0.20	6.00
Arcilla arenosa	0.35	2.40
Arcilla arenosa-limosa	0.30	2.80
Arcilla limosa	0.22	4.00
Arcilla limosa-arenosa	0.33	3.00

2.4. GRUPO DE PILOTES

Cuando se coloca pilotes cerca uno de otro, se genera un traslape de los esfuerzos transmitidos individualmente por cada uno, tal como muestra la Figura 11, reduciendo así la capacidad de carga en grupo. Para no incurrir a dicha pérdida, se deben instalar a un determinado espaciamiento mínimo. Según Urbina (2004), “el espaciamiento, d , mínimo centro a centro es de $2.5D$ y en situaciones ordinarias, es aproximadamente de 3 a $3.5 D$ ”.

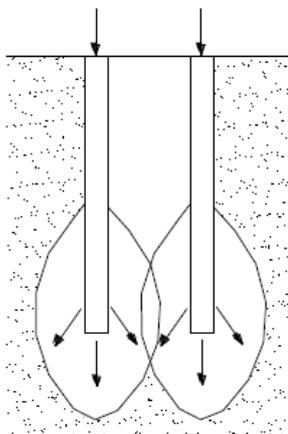


Figura 11. Traslape de capacidad de carga de pilotes en grupo (Urbina, 2004)

La eficiencia de la capacidad de carga en grupo se define con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- η = Eficiencia del grupo.
- $Q_{g(u)}$ = Capacidad última de carga del grupo de pilotes.
- Q_u = Capacidad última de carga de cada pilote sin el efecto del grupo.

A) Pilotes en arena

La capacidad de carga del grupo es mayor que la suma de la de los pilotes aislados, ya que la hinca de pilotes compacta el terreno, cuyo efecto es máximo a una separación de 3.5 diámetros entre ejes (Urbina, 2004). No obstante, por cuestiones de seguridad, a dicha separación resulta conveniente inclinarse a la siguiente ecuación:

$$Q_{g(u)} = \sum Q_u \quad \text{Ecuación 10}$$

Ello difiere con el caso de los pilotes perforados, donde la capacidad por fuste no se ve afectado por el fenómeno mencionado y, más bien, disminuye. Ello se suma a la inminente disminución en la punta por efecto de la superposición de tensiones. De tal manera, en dichos casos, se debe considerar la siguiente ecuación:

$$Q_{g(u)} = 0.8 \sum Q_u \quad (2d \leq ds \leq 4d) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

ds = Separación entre pilotes.

B) Pilotes en arcilla

El efecto en grupo o eficiencia es menos que uno:

$$Q_{g(u)} < \sum Q_u \quad \text{Ecuación 12}$$

"Si los pilotes están muy juntos ($s \leq 2d$) y el cabezal se apoya en el terreno, puede producirse la llamada "rotura en bloque" del conjunto como si fuera una zapata profunda, con eficiencias de 0.6 o menores" (Urbina, 2004).

Por ello resulta conveniente, colocar los pilotes con una separación mínima de 3.5 d.

2.5. CAPACIDAD DE CARGA ESTRUCTURAL DE PILOTES

Estructuralmente, un pilote actúa como una columna corta, ya que se encuentra confinado y, por ende, no tiende a la flexión. En tal sentido, su capacidad de carga axial está definida por la siguiente ecuación:

$$P_n = 0.85 A_s f_y \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- P_n = Resistencia axial
- F_y = Esfuerzo en fluencia
- A_s = Área de la sección transversal del pilote

2.6. HINCABILIDAD DE PILOTES

2.6.1. MÉTODO DE INSTALACIÓN

Los pilotes son hincados en el suelo por un martillo que se posiciona en el extremo de este. Entre estos dos elementos se instala un bloque de tapa. Con la ayuda de una grúa con cables suspendidos se podrá llevar a cabo la alineación del pilote con el martillo, salvo en el caso de martillos vibratorios (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).

Martillos de impacto: Hincan el pilote dentro del suelo aplicando fuerza dinámica. Dependiendo de la energía de impacto, existen una gran variedad de martillos en el mercado.

Martillos vibratorios: Hincan al pilote en el suelo "mediante una acción de empuje y tracción de contrapesos. La acción vibratoria del conductor hace que el suelo adyacente a la pila sea como un fluido viscoso con poca o ninguna fricción en la piel" (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).

2.6.2. SELECCIÓN DE EQUIPO DE HINCADO

Para seleccionar el equipo a emplear para el hincado de pilotes, se dispone de ciertos criterios:

- **Factores comerciales:** Se debe evaluar en primera instancia la disponibilidad del equipo:
 - Proximidad y stock: El equipo seleccionado debe estar en una proximidad razonable al sitio de trabajo, disponible de más de una fuente y a tiempo para la construcción.
 - Tamaño del equipo: La disponibilidad depende del tamaño del equipo: a mayor tamaño, menor oferta. Esta poca disponibilidad de equipos grandes exigirá mayor tiempo y, sumado a las altas tarifas de alquiler, aumentará el costo del trabajo.
- **Ruido:** este factor contempla cierta subjetividad, por lo que debe evaluarse cautelosamente para determinar los métodos más efectivos para reducir su magnitud. También se puede buscar acuerdos en la zona de la obra y/o designar horas de operación adecuadas para eliminar la confrontación.
- **Vibración:** Los efectos de la vibración generada durante el hincado pueden conducir a daños potenciales en la construcción adyacente. Se debe monitorear la vibración durante la carga de pilotes ante la presencia de estructuras adyacentes susceptibles al daño por vibración,
- **Obstrucciones:** Están contenidas en el suelo a penetrar, que impiden el hincado del pilote. En el caso de los pilotes de extremo abierto, pueden atravesar las obstrucciones mediante el uso de una broca de corte. Existen diversos métodos para solucionar este problema, tales cuales el martilleo, el Spudding, y sondeo (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).
- **Espacio libre:** Cuando esta distancia es muy limitada durante la operación, se debe evaluar el tamaño del martillo a usar, así como disposiciones especiales de grúas y guías.
- **Tipo de pilote:** Este depende de muchos factores: clase de suelo, corrosión, disponibilidad, costo, etc.

Parte de la selección del pilote, precedida con la del martillo. Tras definir el tipo de pilote a usar, si no se encuentra disponible el martillo necesario para hincar, se debe alterar el pilote. La configuración del resto del sistema (grúa, líderes, etc.) depende de las especificaciones del martillo.

Para la elección preliminar del tipo de martillo, se tiene la Tabla 8, la cual permite determinar el uso de martillo de impacto o vibratorio, en base a los resultados SPT del suelo.

Tabla 8. Guía rápida para la selección de equipos de conducción de pilas (modificado de un cuadro preparado por G. Barber y W. D. Engle de McKiernan-Terry Corp., Dover, NJ) (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).

SPT	Clase	Pilote de madera	Pilote tubular extremo abierto	Pilote tubular extremo cerrado	Pilote sección H	Tablestaca	Pilote de hormigón
Suelos no cohesivos							
0 - 3	Muy suelto	I (DA)	I (DA) o V	I (DA) o V	I (DA) o V	V	I (DA)
4 - 10	Suelto	I (DA)	I (DA) o V	I (DA) o V	I (DA) o V	V	I (DA)
10 - 30	Medio	I (SA)	I (DA) o V	I (DA) o V	I (DA) o V	V	I (SA)
30 - 50	Denso	I (SA)	I (DA) o V	I (SA) o V	I (DA) o V	V	I (SA)
50+	Muy denso	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (DA) o V	I (SA)
Suelos cohesivos							
0 - 2	Muy blando	I (DA)	I (DA) o V	I (DA)	I (DA) o V	V	I (DA)
4 - 8	Medio	I (DA)	I (DA) o V	I (SA)	I (DA) o V	I (DA) o V	I (SA)
8 - 15	Rígido	I (SA)	I (DA)	I (SA)	I (DA)	I (DA)	I (SA)
15 - 30	Muy rígido	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (SA)
30+	Duro	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (SA)	I (SA)

2.6.2.1. Martillos de impacto.

Un método para dimensionar un martillo de impacto es aplicar el análisis de ecuaciones de onda. “De esta manera, se pueden tener en cuenta todos los factores que influyen en la capacidad de conducción” (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).

Para verificar dicha elección en obra se debe realizar un programa de prueba de carga de pilotes previo a su instalación.

También se dispone de un método rápido para estimar aproximadamente las dimensiones del martillo de impacto de pilotes de hormigón y acero. Este método requiere del siguiente procedimiento:

- Determinar la carga de diseño R_d del pilote en kN.
- Determinar la resistencia última R_u :

$$R_u = N R_d \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

R_u = Resistencia última del pilote, kN
 N = Factor de seguridad

- Dividir el valor de resistencia final por el área de la pila usando la fórmula

$$S_u = R_u / A_p \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

S_u = resistencia máxima del pilote por unidad de área, kPa. Debe superar los 6200 kPa en pilotes de concreto o 62,000 kPa en pilotes de acero para para que sean aplicables los cálculos posteriores.

A_s = Área de la sección transversal del pilote, m²

- Calcular la energía mínima de impacto nominal del martillo a 4 golpes por centímetro (10 golpes por pulgada):

$$\text{Pilotes de concreto} \quad E_{r\ 10BPI} = \frac{A_s S_u}{70.08 e^{(-S_u/25449)}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Pilotes de acero

$$E_{r\ 10BPI} = \frac{A_s S_u^{1.62}}{58500}$$

Ecuación 17

Donde:

$E_{r\ 10BPI}$ = Energía de impacto nominal mínima del martillo a 4 golpes por centímetro (10 golpes por pulgada) de resistencia, kJ

- Recalcular la resistencia última del pilote de unidades utilizando la fórmula:

$$S_{u'} = 3 R_d / A_s \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$S_{u'}$ = Resistencia máxima al pilote por unidad de área para 8 golpes por centímetro (20 BPI), kPa.

- Calcular la energía mínima de impacto nominal para el martillo a 8 golpes por centímetro (20 golpes por pulgada).

Pilotes de concreto

$$E_{r\ 20BPI} = \frac{A_s S_{u'}}{100.78 e^{(-S_{u'}/22989)}}$$

Ecuación 19

Pilotes de acero

$$E_{r\ 20BPI} = \frac{A_s S_{u'}^{1.68}}{165486}$$

Ecuación 20

Donde:

$E_{r\ 20BPI}$ = Energía de impacto nominal mínima del martillo a 8 golpes por centímetro (20 golpes por pulgada) de resistencia, kJ

La energía mínima de golpe nominal para el martillo es la mayor entre $E_{r\ 10BPI}$ y $E_{r\ 20BPI}$.

- Se pueden seleccionar uno o más martillos como posibles candidatos para conducir la pila. El golpe equivalente se debe calcular con la ecuación:

$$S_{eq} = 102 E_r / m_s \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

S_{eq} = Golpe equivalente, m.

E_r = Energía de golpe nominal del martillo, kJ

m_s = Masa de ariete del martillo, kg

- La ecuación de la masa mínima del ariete del martillo se puede calcular para pilotes de hormigón y acero mediante la ecuación:

$$\text{Pilotes de concreto} \quad m_{smin} = \frac{17659 A_s}{\ddot{O}(S_{eq})} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\text{Pilotes de acero} \quad m_{smin} = \frac{161068 A_s}{\ddot{O}(S_{eq})} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

m_{smin} = Masa mínima del ariete del martillo, kg

2.6.2.2. Martillos vibratorios.

No existe un método aceptado para determinar la capacidad de conducción de un pilote hincado por vibración.

2.6.3. FÓRMULA DINÁMICA

El hincado de pilotes como procedimiento de instalación de pilotes tiene como limitación el rechazo del suelo. Para afrontar este fenómeno y determinar hasta qué profundidad es posible hincar el pilote, se tiene las siguientes fórmulas dinámicas.

Según el Manual de Puentes (MTC, 2018), la resistencia nominal del pilote en el hincado se define con la formula dinámica FHWA Gates:

$$R_{ndr} = 1.75\sqrt{E_d} \log_{10}(10N_b) - 100 \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

R_{ndr} = Resistencia nominal del pilote medida durante el hincado (kips)

E_d = Energía del martillo (ft-lb)

N_b = Número de golpes de martillo por 1.0 pulgada de penetración del pilote (golpes/pulgada)

La Fórmula Engineering News también puede ser usada (MTC, 2018):

$$R_{ndr} = \frac{12E_d}{(s + 0.1)} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

s = Penetración permanente del pilote, (pulgada)

Las fórmulas dinámicas no serán usadas cuando la resistencia nominal requerida excede 600 kips (273,000 kg) (MTC, 2018)

Por otro lado, se tiene también la fórmula de DELMAG, la cual permite estimar la penetración media en los últimos 10 golpes, el rechazo del hincado, y así identificar el rechazo del hincado del pilote ($S \geq 0$) (Fuentes, 2001).

$$W = \frac{E \cdot R}{(C \cdot L + S)(R + Q)} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

W = Capacidad de carga última del pilote (ton)

E = Energía del martillo (Kg m)

R = Peso de la masa percutora

C = Factor de elasticidad del pilote (mm/m): 0.3 para pilotes de hormigón y acero ó 0.5 para pilotes de madera.

L = Longitud del pilote (m)

S = Penetración media en los últimos 10 golpes (mm)

Q = Peso del pilote (Kg)

El peso del émbolo del martillo a usar deber ser aproximadamente 1/3 del peso del pilote (Fuentes, 2001). La energía para martillos Delmag se define como:

$$E = R \times 2.5 \quad \text{Ecuación 27}$$

2.6.4. RESISTENCIA AL HINCADO

2.6.4.1. Baja resistencia.

La baja resistencia para los martillos de impacto generalmente se da cuando el número de golpes del martillo no supera los 14 golpes/cm (36 golpes/pie). Cuando ello ocurre, la energía excesiva regresa del pie del pilote y no ingresa al suelo, lo cual genera grietas por tensión en pilotes de concreto, puede dañar el martillo al forzar cargas de alto impacto, y puede implicar la pérdida de control del pilote. La baja resistencia constante en un trabajo también puede indicar que el martillo seleccionado es demasiado grande (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004).

2.6.4.2. Alta resistencia.

Se da por encima de 94 golpes/cm (240 golpes/pie) (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2004). En esta situación, se puede incurrir a un golpe excesivo y, por ende, al deterioro del martillo y del pilote. La alta resistencia constante en el hincado puede indicar que el martillo es demasiado pequeño para su función.

2.7. FENOMENO DE LICUACION

“Este fenómeno ocurre cuando el equilibrio estático es roto por la aplicación de cargas dinámicas, en suelos de baja resistencia residual, lo que genera un aumento en la presión de poros” (Chang, 2015). Ello se debe considerar en el diseño de pilotes, pues “los análisis de interacción suelo-estructura generalmente consideran los efectos de las cargas sísmicas” (Torres, 2001).

Lo primero que se debe efectuar para diseñar cimentaciones es evaluar el potencial de ocurrencia de licuación en el perfil del suelo del proyecto, es decir, si es proclive a sufrir el fenómeno de la licuación. “La susceptibilidad depende de varios factores como el tamaño, gradación, forma y arreglo de las partículas así como del método de depositación, edad geológica e historia de esfuerzos del depósito” (Luque, 2011).

2.7.1. COMPORTAMIENTO DEL SUELO DURANTE SISMOS

Existen tres tipos de comportamientos dinámicos en respuesta a los esfuerzos cíclicos generados por los sismos, los cuales definen el potencial de licuación de los estratos de suelo:

- Suelos friccionantes densos ($N_{60} > 30$): No se licuan; presentan contracción inicial en paralelo a las vibraciones cíclicas, precedido de una dilatación debido al aumento de la presión de confinamiento y el esfuerzo cortante. No se licuan.
- Suelos friccionantes no plásticos, o de densidad media suelta o muy suelta, ($N_{60} < 30$): Padecen de licuación fluida, la cual consisten en la pérdida de rigidez y resistencia debido esfuerzos cortantes de baja magnitud continuado por una falla inmediata con la ocurrencia de grandes deformaciones.
- Los suelos friccionantes con $N_{60} < 30$ y con presencia de finos y baja plasticidad: Son sometidos a la Movilidad Cíclica. En un inicio se comportan como los suelos granulares no plásticos, pero no colapsan por presentar una resistencia al corte siempre mayor al esfuerzo de corte cíclico aplicado. El suelo se recupera e incrementa ligeramente su resistencia al corte tras la disipación del movimiento.

2.7.2. EVALUACIÓN DE LICUACIÓN

La teoría base de este tema parte de las investigaciones de Seed e Idriss (1971, 1982), quienes desarrollaron el procedimiento simplificado de evaluación de licuación. Este se ha ido actualizando en diversas investigaciones; por ejemplo en los talleres del National Center for Earthquake Research (NCEER) de 1996 y de NEER/NSF de 1998 (Youd et al., 2001).

El cálculo se desarrolla en base a observaciones in situ del comportamiento del suelo durante sismos pasados e involucra el uso de la resistencia a la penetración estándar N (número de golpes del ensayo estándar de penetración - SPT - ASTM D-1586) como una medida de resistencia de las arenas a la licuefacción.

El procedimiento utilizado incluye los pasos siguientes:

- a) Cálculo de los esfuerzos de corte cíclico inducidos como consecuencia de la excitación sísmica (CSR);
- b) Cálculo del esfuerzo cortante cíclico normalizado resistente mínimo que produce licuefacción (resistencia a la licuefacción) (CRR);
- c) Cálculo del factor de seguridad frente a la ocurrencia de la licuefacción (FS_L).

A) Cálculo de los Esfuerzos de Corte Cíclico Inducidos (CSR)

Para el análisis de licuefacción se considera el esfuerzo promedio de corte cíclico, que correspondería a una vibración uniforme equivalente a la del sismo de diseño.

El cálculo de la relación de esfuerzos de corte cíclico fue formulado por Seed e Idriss (1971) mediante la siguiente expresión (Ecuación 28):

$$CSR = \frac{(\tau h)_{ave}}{\sigma'_{o}} = \frac{0.65 a_{max} \sigma_{o} r_d}{g \sigma'_{o}} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

CSR	=	Esfuerzo de corte cíclico normalizado inducido por el sismo
(τ h) _{ave}	=	Esfuerzo promedio de corte cíclico
σ' o	=	Presión efectiva de tapada
σ o	=	Presión total
a max	=	Aceleración máxima en la superficie del terreno
g	=	Aceleración de la gravedad
r _d	=	Coeficiente de reducción de las tensiones, que disminuye desde en la superficie del terreno hasta valores muy inferiores a grandes profundidades.

Para la facilidad del cálculo del factor r_d, T.F. Blake aproximó el cálculo mediante la Ecuación 29:

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z + 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

z = profundidad debajo de la superficie del suelo en metros

B) Cálculo del Esfuerzo Cortante Cíclico Normalizado Resistente Mínimo que produce Licuefacción (Resistencia a la Licuefacción) (CRR)

Para una estimación adecuada del valor del CRR se debe disponer de una muestra de suelo intacta en el laboratorio para su respectivo análisis. No obstante, este estado original del suelo no puede ser reestablecido tras su extracción, mediante las técnicas convencionales de perforación y muestreo, ya que dichas muestras de suelos granulares presentarán una significativa perturbación como para registrar resultados precisos. Estos resultados esperados, propio de las condiciones reales del suelo in situ, solo pueden ser obtenidas con el empleo de técnicas de muestreo especializadas, tales como la congelación del suelo, las cuales permitirán extraer muestras suficientemente inalteradas para su posterior análisis.

El costo de estos procedimientos constituye por lo general una exacerbada suma de dinero, por lo que su uso no resulta viable en muchos proyectos, salvo en los proyectos más críticos. “Para evitar las dificultades asociadas con el muestreo y las pruebas de laboratorio, las pruebas de campo se han convertido en la práctica convencional para las investigaciones de licuefacción” (Youd et al., 2001).

Entre las pruebas de campo más comunes y factibles para ser empleado en la evaluación de la resistencia a la licuación, se encuentra incluida la prueba de penetración estándar (SPT), la prueba de penetración de cono (CPT), las mediciones de velocidad de onda cortante (V_s) y la prueba de penetración de Becker (BPT) (Youd et al., 2001).

Por un lado, se prefiere trabajar con la información de los SPT y los CPT debido a las bases de datos más extensas y la experiencia pasada; mientras que las otras dos pruebas pueden ser aplicadas “en sitios subyacentes por sedimento de grava o donde el acceso de equipos grandes es limitado” (Youd et al., 2001).

El valor de la resistencia a la licuefacción CRR se ha determinado con la Ecuación 30) propuesta para arenas limpias por A.F. Rauch de la Universidad de Texas (Youd et al., 2001):

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - N_{1(60)}} + \frac{N_{1(60)}}{135} + \frac{50}{(10N_{1(60)} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$CRR_{7.5}$ = Esfuerzo cortante cíclico normalizado resistente mínimo que produce licuefacción

$N_{1(60)}$ = Resistencia a la penetración estándar normalizada

Esta expresión fue desarrollada para un sismo de una magnitud de 7 ½ y debe corregirse para obtener el valor correspondiente al sismo de análisis que se desea efectuar.

Esta ecuación es válida solo para valores de $N_{1(60)}$ menores a 30. Cuando supera dicho valores, se trata de suelo granular suficientemente denso y no propenso a la licuación.

El valor de $N_{1(60)}$ debe corregirse también en el caso de arenas con presencia de finos. La corrección se ha llevado a cabo considerando la siguiente expresión (Ecuación 31) propuesta por R.B. Seed (Youd et al., 2001):

$$N_{1(60)CS} = \alpha + \beta \times N_{1(60)} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

α = 0 si el contenido de finos (FC) es menor o igual que 5%
= $\exp(1.76 - (190/FC^2))$ para 5% < FC < 35%
= 5 para FC ≥ 35%

β = 1 para FC ≤ 5%
= $(0.99 + (FC^{1.5}/1000))$ para 5% < FC < 35%
= 1.2 para FC ≥ 35%

El valor de N obtenido en el ensayo SPT debe corregirse adicionalmente con los siguientes factores para obtener el $N_{1(60)}$, tal como indica la Ecuación 32:

$$N_{1(60)} = N_m \times C_n \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

N_m = Resistencia a la penetración estándar medida (SPT)

- Cn = Corrección por tensión vertical debida a la sobrecarga del terreno (factor que normaliza la resistencia a la penetración estándar a una presión efectiva de tapada de 1 Ton/pie²)
- CE = Corrección para la relación de energía del martillo (ER)
- CB = Corrección por el diámetro de la perforación
- CR = Corrección por longitud de barras
- CS = Corrección por muestreador con o sin revestimiento

Los valores de estos factores de corrección están definidos en la Tabla 9.

Tabla 9. Correcciones a SPT (Modificado de Skempton 1986) según lo enumerado por Robertson y Wride

FACTOR	NOMENCLATURA	EQUIPO VARIABLE	CORRECCION
Presión de sobrecarga	CN	-	$(Pa/\sigma'_{vo})^{0.5}$
		-	$CN \leq 1.7$
Relación de energía	CE	Donut hammer	0.5-1.0
		Safety hammer	0.7-1.2
		Automatic-trip Donut-type hammer	0.8-1.3
Diámetro de perforación	CB	65-115 mm	1.0
		150 mm	1.05
		200 mm	1.15
Longitud de barras	CR	<3 m	0.75
		3-4 m	0.8
		4-6 m	0.85
		6-10 m	0.95
		10-30 m	1.0
Método de muestreo	CS	Muestreador estándar	1.0
		Muestreador sin revestimiento	1.1-1.3

Los valores N de SPT aumentan junto con la presión de sobrecarga efectiva. Por ello, Seed and Idriss en 1982 incorporan un factor de corrección de presión de sobrecarga, el cual comúnmente se calcula con la Ecuación 33, formulada por Liao y Whitman en 1986:

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vo}}\right)^{0.5} \quad \text{Ecuación 33}$$

C_N , que no debe exceder un valor de 1.7 normaliza N_m a una presión de sobrecarga efectiva σ'_{vo} de $P_a = 100$ kPa (1 atm). En las actas del taller del Centro Nacional de Investigación de Ingeniería Sísmica (NCEER) se propuso un valor máximo de 2.0, el cual luego se redujo a 1.7. Kayen et al. (1992) sugirieron la siguiente ecuación (Ecuación 34), que limita el valor máximo de C_N a 1.7 (Youd et al., 2001):

$$C_N = \frac{2.2}{1.2 + \frac{\sigma'_{vo}}{P_a}} \quad \text{Ecuación 34}$$

Puede usarse cualquiera de las ecuaciones para el análisis de licuación.

3) Cálculo del Factor de Seguridad frente a la Ocurrencia de la Licuefacción (FS_L)

El factor de seguridad frente a la ocurrencia de licuefacción se define como:

$$FS_L = CRR / CSR \quad \text{Ecuación 35}$$

De acuerdo a lo estipulado en la Norma Técnica de Edificación E050: Suelos y Cimentaciones (2018) este factor de seguridad debe ser mayor de 1.15 tratándose de un centro comercial.

Todo el procedimiento mencionado anteriormente es aplicable solamente para un análisis para un sismo de magnitud 7.5. Para ajustar los resultados a otras magnitudes, ya sea inferiores o superiores a los 7.5, Seed e Idriss introdujeron en 1982 factores de corrección denominados “factores de escala de magnitud” (MSFs) (Youd et al., 2001). Esta influencia de los factores de escala de magnitud se ve ilustrado en la siguiente ecuación, donde el factor de seguridad (FS) contra la licuefacción se calcula en función a los valores de CRR, CSR y MSF:

$$FS = (CRR_{7.5} / CSR) MSF \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

CSR = relación de tensión cíclica calculada generada por el terremoto

$CRR_{7.5}$ = relación de resistencia cíclica para terremotos de magnitud 7.5.

Los límites entre las regiones de licuefacción y no licuefacción en los valores de CRR varían para magnitudes diferentes a 7.5. Por ello, Seed e Idriss “desarrollaron un conjunto de MSF a partir de números promedio de ciclos de carga para varias magnitudes de terremotos y resultados de pruebas de laboratorio” (Youd et al., 2001), los cuales han sido aplicados en la práctica de la ingeniería desde su introducción en 1982.

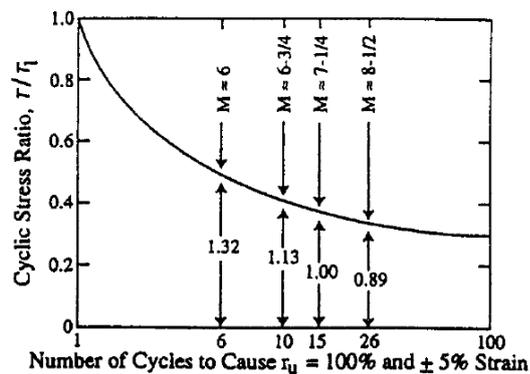


Figura 12. Relación representativa entre CSR y el Número de Ciclos para generar Licuación (Elaborado por Seed e Idriss, 1982).

Posteriormente, estos valores han ido modificándose en cada actualización del estudio, tal como se puede apreciar en la Tabla 10:

Tabla 10. Valores del Factor de escala de magnitud definido por varios autores (Youd and Noble, 1997)

Magnitud, M	Seed and Idriss (1982)	Idriss (1995)	Ambraseys (1988)	Arango (1996)		Andrus and Stokoe (1997)	Youd and Noble (1997)		
				En base a distancia	En base a energía		PL < 20%	PL < 32%	PL < 50%
5.5	1.43	2.20	2.86	3.00	2.20	2.80	2.86	3.42	4.44
6.0	1.32	1.76	2.20	2.00	1.65	2.10	1.93	2.35	2.92
6.5	1.19	1.44	1.69	1.60	1.40	1.60	1.34	1.66	1.99
7.0	1.08	1.13	1.30	1.25	1.10	1.25	1.00	1.20	1.39
7.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00
8.0	0.94	0.84	0.67	0.75	0.85	0.8?	-	-	0.73?
8.5	0.89	0.72	0.44	-	-	0.65?	-	-	0.56?

CAPÍTULO III: EVALUACIÓN DEL SUELO Y ANÁLISIS DE LICUACIÓN

3.1. MALL AVENTURA IQUITOS, LORETO

Se pudo desarrollar el respectivo análisis de licuación de la zona en base a los resultados de los ensayos realizados por M&M Consultores S.R.L. Dicho estudio se dio a cabo para determinar las condiciones de cimentación del Mall Aventura Iquitos. El terreno de la obra se ubica en el distrito de San Juan Bautista de la ciudad de Iquitos, provincia de Maynas, departamento de Loreto. El terreno está delimitado por la avenida José Abelardo Quiñones, la Escuela de Policía de Iquitos, la Universidad Nacional de la Amazonía y el Colegio Nacional de Iquitos.

3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El estudio, con el fin de definir el perfil estratigráfico de la zona desarrolló una serie de mediciones y exploraciones de campo:

- 12 perforaciones por lavado (WB-1 a WB-12), con ensayos de penetración estándar (SPT).
- 13 calicatas excavadas (C-1 a C-13).
- 21 auscultaciones dinámicas con cono de Peck, (CP-1 a CP-21).
- 3 líneas de refracción sísmica (LS-01 a LS-03).
- 3 pruebas geofísicas mediante arreglos multicanal de ondas superficiales, (MASW-01 a MASW-03).

Como resultado, se determinó que el subsuelo está constituido en gran parte por material fino el cual posee una baja capacidad portante. El perfil del suelo está conformado por una capa superior, de 0.10 a 1.50 m de espesor, de relleno (tierra de cultivo) conformada por arcilla limosa. Bajo la capa superior de relleno existe una capa de suelos finos de baja resistencia constituida por:

- Arcilla limosa, de plasticidad baja a media, muy blanda a medianamente compacta.
- Arcilla limosa, de plasticidad alta, muy blanda a medianamente compacta
- Limo arcilloso, arenoso, de plasticidad alta, muy blando a blando
- Arena fina, arcillosa y/o limosa, muy suelta a medianamente densa

- Arena fina, ligeramente limosa, mal graduada, muy suelta a medianamente densa.

Respecto al nivel freático, se registró a una profundidad entre los 3.70 y 4.70 m respecto del nivel de la superficie actual del terreno en marzo de 2019. Según las aclaraciones del estudio, este nivel puede sufrir fluctuaciones en las distintas épocas del año debido a las lluvias intensas, propias de la zona.

3.1.2. EVALUACION DE LICUACIÓN

Tal como se estableció en los objetivos, se efectuó el análisis de licuación con los resultados del ensayo SPT de la perforación W-07 (Tabla 11), ya que registra los resultados más críticos. Por presentar valores de N60 inferiores a las otras perforaciones, comprende una mayor probabilidad de presentar suelos licuefactibles.

Tabla 11. Resultados de Ensayo de Penetración Estándar (SPT) del sondaje W-07 (M&M, 2019)

N°	PROF. (m)	Número de golpes cada 0.30 m de penetración (N)	CLASIFICACIÓN SUCS
1	1.20 - 1.65	6	CL
2	2.00 - 2.45	7	CL
3	3.20 - 3.65	7	CL
4	4.00 - 4.45	8	CL
5	5.00 - 5.45	50	SP
6	6.00 - 6.45	39	SP
7	7.20 - 7.65	4	CH
8	8.00 - 8.45	13	CH
9	9.20 - 9.65	18	CH
10	10.00 - 10.45	10,45,60(4")*	CH
11	11.00 - 11.45	37	CL
12	12.00 - 12.45	52	CL
13	13.00 - 13.45	76	CL
14	14.00 - 14.45	60(2")*	CL
15	15.00 - 15.45	47	CL
16	16.00 - 16.45	42	CL
17	17.00 - 17.45	47	CL
18	18.00 - 18.45	48	CL
19	19.00 - 19.45	46	CL
20	20.00 - 20.45	44	CL

* Los números entre paréntesis indican la penetración alcanzada con 60 golpes del martillo de 140 lb utilizado para el ensayo de penetración estándar

En este sondaje, se presentó la siguiente distribución de estratos:

Tabla 12. Registro de perfil de suelos del sondaje W-07 (M&M, 2019)

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	DESCRIPCIÓN	SUCS
0.00 - 0.30	0.30	Tierra de cultivo, Arcilla limosa, arenosa, de plasticidad media, blanda, húmeda, marrón. Raíces	
0.30 - 4.00	3.70	Arcilla limosa, arenosa, de plasticidad media, medianamente compacta a compacta, húmeda, marrón amarillento, claro	CL
4.00 - 5.00	1.00	Arcilla limosa, arenosa, de plasticidad baja, compacta, saturada, marrón amarillento claro	CL
5.00 - 7.00	2.00	Arena fina, mal graduada, densa, saturada, marrón amarillento claro.	SP
7.00 - 10.00	3.00	Arcilla de plasticidad alta, muy blanda a medianamente compacta, saturada, gris verdoso.	CH
10.00 - 10.30	0.30	Arcilla de plasticidad alta, medianamente compacta, saturada, gris verdoso.	CH
10.30 - 11.00	0.70	Suelo orgánico. Arcilla limosa, de plasticidad alta, dura, saturada, negro.	OH
11.00 - 15.00	4.00	Arcilla limosa, arenosa, de plasticidad media, muy compacta a dura, saturada, gris verdoso. Conchuelas.	CL
15.00 - 20.45	5.45	Arcilla limosa, de plasticidad media, dura, saturada, gris verdoso. Concreciones.	CL

La Tabla 12 evidencia el predominio de la arcilla como material del suelo, lo cual sirve como indicador del bajo potencial de licuación. No obstante, se trata de depósitos de arena por lo que sí resulta necesario el análisis de licuación previo al diseño de pilotes.

Para la evaluación se utilizó el procedimiento propuesto por Seed e Idriss (1971, 1982), actualizado según la publicación de Youd et al. (2001).

3.1.2.1. Cálculo de los Esfuerzos de Corte Cíclico Inducidos (CSR)

Para su cálculo se empleó la Ecuación 28 y se realizó dos análisis:

- Para el primero se consideró el esfuerzo promedio de corte cíclico para una aceleración máxima en la superficie de 0.05 g, correspondiente a un sismo mediano de 6 MB, que correspondería a una vibración uniforme equivalente a la del sismo de diseño, con probabilidad de ocurrir varias veces durante la vida útil de la estructura del centro comercial.
- Para el segundo el esfuerzo total que corresponde a un sismo severo para una aceleración máxima de 0.10 g, correspondiente a un sismo severo de magnitud de 7 ½ MB con menor probabilidad de ocurrencia.

El uso de la aceleración de 0.10 g está establecida en la Norma Técnica de Edificación E030: Diseño Sismorresistente (2018) para la zona evaluada: Zona 1.

3.1.2.2. Cálculo del Esfuerzo Cortante Cíclico Normalizado Resistente Mínimo que produce Licuefacción (Resistencia a la Licuefacción) (CRR)

El valor de la resistencia a la licuefacción CRR se ha calculado con la Ecuación 30, la cual corresponde a un sismo de una magnitud de 7 ½. Para el primer análisis, dicho valor se debe corregir para obtener el valor correspondiente al sismo de diseño (magnitud de 6), para lo cual, según la Figura 12, se debe multiplicar por 1.32.

Para la corrección del valor de N obtenido en el ensayo SPT se corrigió en base a las siguientes consideraciones, de acuerdo a la Ecuación 32:

- CE = 1, valor máximo recomendado (Youd et al., 2001) para el martillo tipo donut utilizado en los ensayos SPT.
- CB = 1, correspondiente a un diámetro de perforación de 65 a 115 mm
- CS = 1 correspondiente a un muestreador estándar, equipo utilizado en el ensayo.
- CR varía según la longitud de las varillas (lb).

3.1.2.3. Cálculo del Factor de Seguridad frente a la Ocurrencia de la Licuefacción (FSL)

Se obtuvo los siguientes factores de seguridad (FSL):

Tabla 13. Resultados del Análisis de Licuefacción del perfil WB-7 (Fuente: Elaboración Propia)

PROF. REAL (m)	SUCS	N	N1(60)	Factor de Seguridad Frente a la Licuación		Potencial de Licuación
				Sismo Mediano	Sismo Severo	
1.5	CL	6	6.57	3.452	1.308	NL
2.3	CL	7	6.91	3.587	1.359	NL
3.5	CL	7	6.43	3.456	1.309	NL
4.3	CL	8	7.30	3.642	1.379	NL
5.3	SP	50	43.42	15.696	5.945	NL
6.3	SP	39	36.12	25.618	9.704	NL
7.5	CH	4	3.53	2.045	0.775	NL
8.3	CH	13	11.17	3.987	1.510	NL
9.5	CH	18	14.87	4.988	1.890	NL
10.3	OH	135	114.22	26.604	10.077	NL
11.3	CL	37	30.21	15.053	5.702	NL
12.3	CL	52	40.79	14.040	5.318	NL
13.3	CL	76	57.36	14.916	5.650	NL
14.3	CL	180	130.91	32.279	12.227	NL
15.3	CL	47	32.98	41.731	15.807	NL
16.3	CL	42	28.47	13.682	5.183	NL
17.3	CL	47	30.82	19.662	7.448	NL
18.3	CL	48	30.47	19.070	7.224	NL
19.3	CL	46	28.30	14.839	5.621	NL
20.3	CL	44	26.26	12.806	4.851	NL

Donde: NL: No licuable; L: Licuable en sismos severos; LL: Licuable en sismos medianos

Los cálculos de los valores de CRR, CSR y FSL se presentan en el ANEXO A: ANÁLISIS DE LICUACIÓN.

De acuerdo a lo estipulado en la Norma Técnica de Edificación E050: Suelos y Cimentaciones (2018) este factor de seguridad debe ser mayor de 1.15 tratándose de un centro comercial, de lo contrario, se confirma que el suelo es licuable.

De tal manera, los resultados de la evaluación del potencial de licuefacción, tal como se muestra en la Tabla 13, indican que el suelo en la perforación WB-7 entre los 7.00 y 8.00 m de profundidad, es potencialmente licuefactible. Sin embargo, se trata de un suelo arcilloso (CH), mas no arenoso, por lo cual no presenta potencial de licuación.

Asimismo, este valor de $FSL = 0.775$ va concorde a los resultados del análisis de licuación para un sismo severo, el cual, según la norma, es el que se debe considerar. No obstante, este tipo de sismo corresponde a un tiempo de ocurrencia de 50 años, mientras que la obra analizada consiste en un centro comercial de un tiempo de vida de 30 años, para lo cual resulta más coherente emplear el primer análisis, correspondiente a un sismo mediano, en el cual no se presenta licuación en ningún estrato.

Cabe resaltar que el cálculo es aplicable para estratos con número de golpes menor de 30. Al exceder los 30 golpes garantiza resistencia y el nulo potencial de licuación, sin necesidad de efectuar el análisis (Youd et al., 2001) Es por ello que en estos casos se obtuvo valores de FSL muy singulares.

3.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se determinó que sí hay presencia de arenas en el suelo donde se cimentará el proyecto del Mall Aventura Iquitos, las cuales, tal cual indica la teoría constituyen estratos potencialmente licuables. No obstante, estos estratos de arena solo yacen entre las profundidades de 5 y 7m, en los cuales se tiene valores de $N_{1(60)}$ mayores a 30 y, por ende, valores de FS muy superiores a 1.15, por lo cual se trataría de estratos de arena no licuables

3.2. CENTRO COMERCIAL TARAPOTO, SAN MARTÍN

Se pudo desarrollar el respectivo análisis de licuación de la zona en base a los resultados de los ensayos realizados por M&M Consultores S.R.L. El estudio se llevó a cabo en Julio de 2014.

El terreno se ubica en la ciudad de Santa Cruz de los Motilones de Tarapoto, capital del departamento de San Martín. El proyecto está cercado por la avenida Salaverry y los jirones Aviación, Francisco Pizarro y Rafael Díaz.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El programa de investigación de campo llevado a cabo comprendió los siguientes trabajos:

- 02 perforaciones por lavado tipo wash boring (P-1 a P-2), con ensayos de penetración estándar (SPT).
- 04 perforaciones rotativas (P-3 a P-6), con ensayos de penetración estándar (SPT).
- 07 calicatas (C-1 a C-7).
- 06 auscultaciones con cono de Peck (CP-1 a CP-7).

De acuerdo a los resultados, se encontró una capa superior de relleno de arena fina, limosa, medianamente densa, con piedras redondeadas y sub angulares de hasta 6 pulgadas de tamaño máximo, restos de desmonte, basura y/o raíces, de 0.10 a 0.60 m de espesor.

Por debajo se encuentra un depósito de arena fina con limo y arcilla, con densidad relativa que aumenta con la profundidad:

- Estado suelto entre los 3.70 a 5.00 m.
- Estado suelto a medianamente denso entre los 6.00 y 7.90 m.
- Estado medianamente denso entre los 8.20 y 12.70 m.

A más profundidad, yacen gravas y arenas limosas, densas a muy densas, cementadas

El nivel freático, durante el estudio de suelo, registraba una profundidad de 4.5 m.

3.2.2. EVALUACION DE LICUACIÓN

Como se indicó en los objetivos, se efectuó el análisis de licuación con los resultados del ensayo SPT más críticos, es decir, con valores de N_{60} inferiores en comparación al resto de perforaciones, ya que ello comprende una mayor probabilidad de presentar suelos licuefactibles. En tal sentido, se trabajó con los resultados de la perforación P-04, los cuales, se muestran a continuación en la

Tabla 14:

Tabla 14. Resultados de Ensayo de Penetración Estándar (SPT) del sondaje P-04 (M&M, 2015)

N°	PROF. (m)	Número de golpes cada 0.30 m de penetración (N)
1	5.00 - 5.45	14
2	6.00 - 6.45	10
3	7.00 - 7.45	18
4	8.00 - 8.45	21
5	9.00 - 9.45	21
6	10.00 - 10.45	4,21,50(4 1/2")*
7	11.00 - 11.45	50(5 1/2")*
8	12.00 - 12.45	50(1")*
9	13.00 - 13.45	38,43,50(1")*
10	14.00 - 14.45	50(1")*
11	15.00 - 15.45	50(1")*

* Los números entre paréntesis indican la penetración alcanzada con 60 golpes del martillo de 140 lb utilizado para el ensayo de penetración estándar

Los resultados del N°6 al N°9 presentan números de golpes superiores a 50. Como ya se indicó, por corresponder a un valor mayor a 30, ya garantiza un nulo potencial de licuación, por lo que se procedió a reemplazar estos 5 valores con el número de 50 golpes.

En este sondaje, se presentó la siguiente distribución de estratos:

Tabla 15. Registro de perfil de suelos del sondaje P-04 (M&M, 2019)

PROFUNDIDAD (m)	ESPESOR (m)	DESCRIPCIÓN	SUCS
0.00 - 0.20	0.20	Relleno. Arena fina, limosa, suelta, ligeramente húmeda, marrón claro. Finos no plásticos. Restos de desmonte (pedazos de ladrillos y concreto).	-
0.20 - 0.60	0.40	Relleno. Arena fina, limosa, suelta, húmeda, marrón oscuro. Finos no plásticos. Lentes de limo arcilloso. Restos de desmonte (pedazos de ladrillos y concreto).	-
0.60 - 5.00	4.40	Arena fina, suelta, húmeda, marrón claro; con gravas sub redondeadas aisladas. Finos de plasticidad baja.	SC
5.00 - 7.50	2.50	Arena fina a media, arcillosa, limosa, suelta a medianamente densa, húmeda, marrón rojizo. Finos de plasticidad baja.	SC-SM
7.50 - 10.35	2.85	Arena fina a media, limosa, medianamente densa, húmeda, marrón claro; con gravas sub redondeadas de 1 1/2 pulg de tamaño máximo. Finos de plasticidad baja.	SM
10.35 - 11.00	0.65	Grava arenosa, ligeramente limosa, mal graduada, cementada, muy densa, húmeda, marrón amarillento blanquecino; con gravas sub redondeados aislados de 1 1/2 pulg de tamaño máximo. Finos no plásticos.	GP-GM
11.00 - 14.00	3.00	Grava arenosa, ligeramente limosa, mal graduada, densa a muy densa, cementada, húmeda, marrón amarillento blanquecino; con gravas sub redondeados aislados de 1 1/2 pulg de tamaño máximo. Finos no plásticos.	GP-GM
14.00 - 15.45	1.45	Arena fina a media, limosa, muy densa, cementada, húmeda, marrón amarillento blanquecino; con gravas sub redondeados de 1 1/2 pulg de tamaño máximo. Finos no plásticos.	SM

En este estudio, a diferencia del Mall Iquitos, se ha registrado mayor presencia de arena que de arcilla, lo cual sirve como indicador del alto potencial de licuación. Por lo tanto, resulta necesario el análisis de licuación previo al diseño de pilotes.

Para la evaluación, al igual que en el análisis anterior se utilizó el procedimiento propuesto por Seed e Idriss (1971, 1982), actualizado según la publicación de Youd et al. (2001).

Se tuvo las mismas consideraciones del análisis anterior para el cálculo de los Esfuerzos de Corte Cíclico Inducidos (CSR), los Esfuerzos de Corte Cíclico Normalizado Resistente Mínimo que produce Licuefacción (Resistencia a la Licuefacción) (CRR) y los Factores de Seguridad frente a la Ocurrencia de la Licuefacción (FSL).

No obstante, de acuerdo a la Norma E.030 (2018), la ciudad de Tarapoto se ubica en el Sector 3, teniendo una aceleración sísmica de 0.35g, mucho más elevada que en el sector de Iquitos y, por ende, más propenso a la licuación.

Se obtuvo los siguientes factores de seguridad (FSL):

Tabla 16. Resultados del Análisis de Licuefacción del perfil P-04 (Fuente: Elaboración Propia)

PROF. REAL (m)	N	N1(60)	Factor de Seguridad Frente a la Licuación		Potencial de Licuación
			Sismo Mediano	Sismo Severo	
5.45	14	13.22	1.595	0.604	L
6.45	10	9.15	1.139	0.431	LL
7.45	18	15.27	1.755	0.665	L
8.45	21	16.57	1.913	0.725	L
9.45	27	19.92	2.438	0.924	L
10.45	50	34.61	3.968	1.503	NL
11.45	50	32.46	4.190	1.587	NL
12.45	50	30.57	4.652	1.762	NL
13.45	50	28.88	5.600	2.121	NL
14.45	50	27.37	7.967	3.018	NL
15.45	50	26.01	20.642	7.819	NL

Donde: NL: No licuable; L: Licuable en sismos severos; LL: Licuable en sismos medianos

Se observa valores de FSL menores a 1.15 en los 5 primeros resultados. No obstante, como ya se definió, se tomará los resultados del análisis para sismo

mediano, en el cual aun así se presenta suelo licuable, pero sólo en el segundo resultado.

De tal manera, los resultados de la evaluación del potencial de licuefacción indican que el suelo en la perforación P-04 entre los 6.00 y 7.00 m de profundidad, es potencialmente licuefactible como se muestra en la Tabla 16.

En este análisis también se obtuvo ciertos valores de FSL muy singulares, los cuales corresponden a estratos con número de golpes mayor de 30, en donde el cálculo no es aplicable.

3.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se determinó que sí hay presencia de arenas en el suelo donde se cimentará el proyecto del Centro Comercial Tarapoto, las cuales, tal cual indica la teoría constituyen estratos potencialmente licuables. Dicha licuación, alcanza, en el punto más crítico, sondaje P-04, una profundidad de 6.5 metros.

Por lo tanto resulta obligatorio el empleo de pilotes que se hinquen a una profundidad mayor a la mencionada. Los metros hincados en suelo no licuables permitirán a los pilotes, muy aparte de mantenerlo empotrado, aumentar su capacidad por fuste, ya que dentro del cálculo convencional dicha capacidad es cero por sobre estratos licuables.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LOS MODELOS DE CIMENTACIÓN

Todos los diseños fueron efectuados en base al método teórico de NAVFAC (1986).

4.1. MALL AVENTURA IQUITOS, LORETO

Como se trata de un suelo cohesivo, se requiere de los valores de cohesión y densidad de los estratos de suelo. Como ya se estableció, se diseñará la cimentación para la zapata más próxima a la perforación WB-07, la cual se ubica en la intersección de los ejes 7 y B, en donde la carga en servicio transmitida es de 80 Tn.

Las elevaciones de los pisos y del semisótano condicionan la profundidad de los pilotes, presentando una cota de extremo superior a 3 m bajo el nivel del terreno:

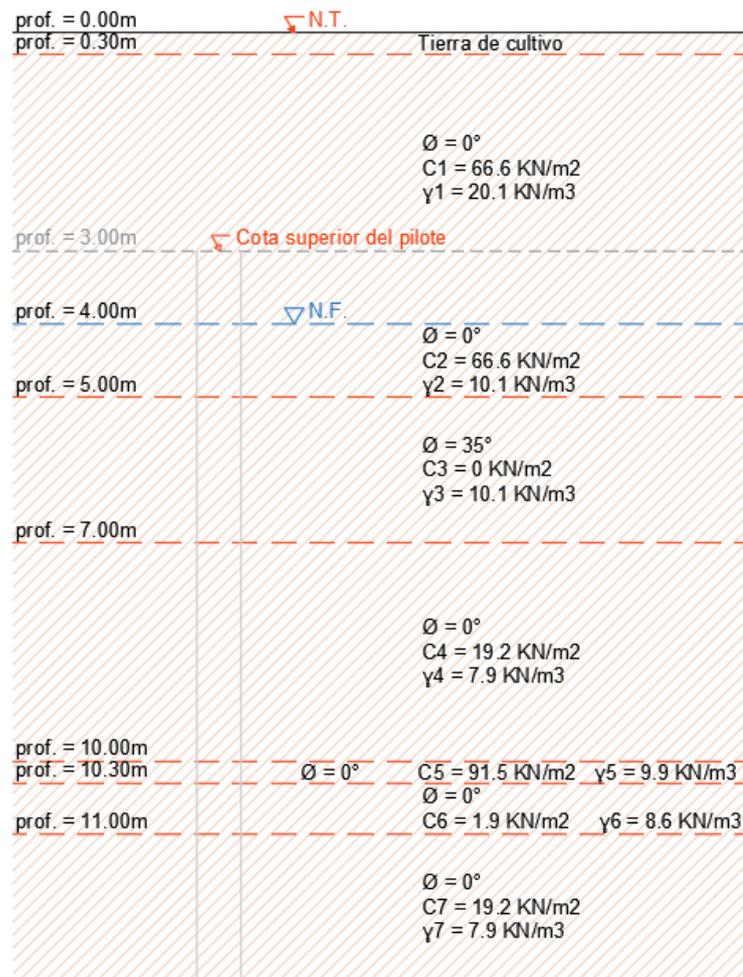


Figura 13. Perfil de suelos en perforación WB-07 (Elaboración propia, 2020)

Primero se calculó los valores de Adhesión, para lo cual se empleó la relación de Cohesión y Adhesión de la Tabla 5:

Tabla 17. Valores de Adhesión CA del perfil de suelos Mall Aventura Iquitos

COHESION, C		ADHESION, CA
kN/m ²	kg/m ²	kg/m ²
66.6	6788.99	3455.81
66.6	6788.99	3455.81
0	0	0.00
19.2	1957.19	1839.33
91.5	9327.22	3506.58
1.9	193.68	193.68
245.25	25000	3743.86

Se aprecia un estrato friccional, donde la cohesión es cero, por lo que en dicho estrato la capacidad de fuste aportada por el suelo debería estar dominada por la fricción. No obstante, tal como indica la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones (2018), se debe diseñar la totalidad del pilote o como suelo cohesivo o suelo friccional, mas no como combinación de los dos.

Considerando un pilote de 12m de altura, se tiene el siguiente diagrama de presiones:

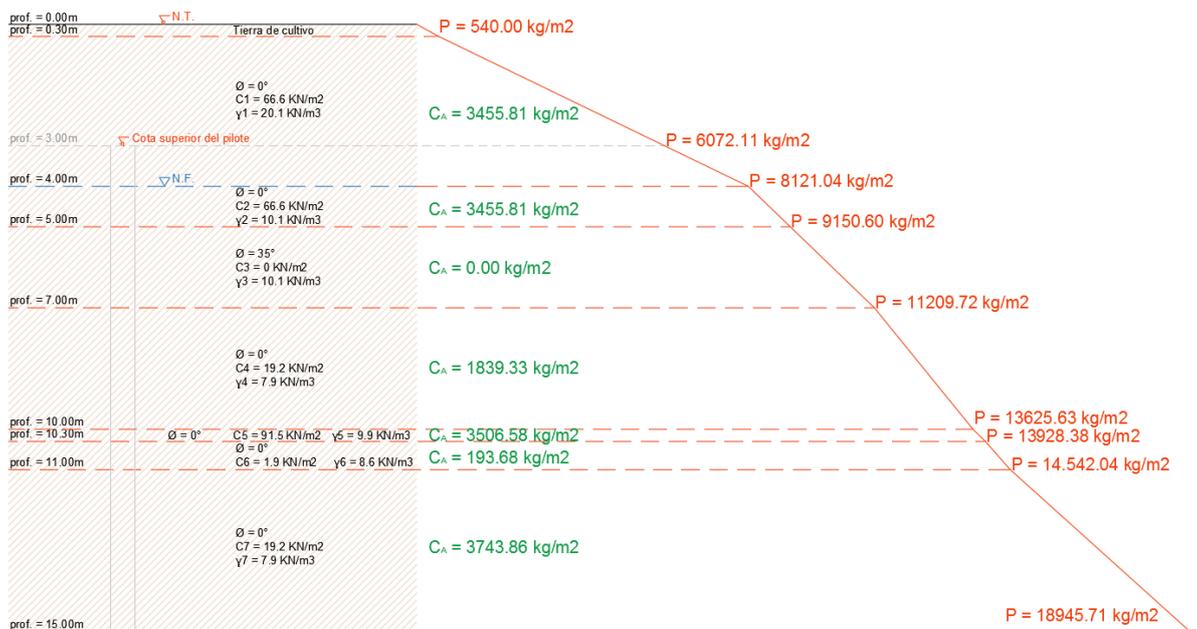


Figura 14. Diagrama de presiones en perforación WB-07 (Elaboración propia, 2020)

Se está considerando un pilote de 12m por ser una longitud comercial; las piezas tubulares de acero se distribuyen por lo general en dicha dimensión. De requerir un mayor tamaño se deberá traslapar la pieza con otra, generando gastos adicionales; y, por lo contrario, se desea un tamaño menos, sólo se necesita un corte.

Suponiendo que se trabaje con diámetros que varían entre los 30cm y 60cm (12"-24"), la relación de $Z/2R$ sería mayor o igual a 10. De tal manera, sumado a que se trata de pilotes cilíndricos, de la Figura 9 se obtiene un valor de NC a 9.

4.1.1. DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS

Se comenzará el diseño con las siguientes dimensiones para luego proceder con las iteraciones:

- Diámetro: $D = 16''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 12m$

Se escogió estas dimensiones por ser de carácter comercial.

Como se trata de un suelo cohesivo, se empleó la Ecuación 3 para el cálculo de la capacidad última. En base a ello se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 2,672.09 \text{ kg}$$

$$Q_F = 36,505.40 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 39,177.49 \text{ kg}$$

Por tratarse de un diseño geotécnico, la capacidad admisible del pilote se obtiene usando un factor de seguridad $FS = 3$:

$$Q_{adm} = 13,059.16 \text{ kg}$$

Como la columna sobre la zapata transfiere una carga en servicio de 80 toneladas, se requeriría un total de 7 pilotes como mínimo para soportarla, considerando una distribución conveniente para que no se reduzca la capacidad del pilote por el trabajo en grupo. Aun así, sigue siendo un número excesivo de pilotes, por lo que se procederá a iterar con otro diámetro y espesor comerciales:

- Diámetro: $D = 24''$
- Espesor: $e = 1/2''$
- Longitud: $L = 12\text{m}$

Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 5,358.43 \text{ kg}$$

$$Q_F = 54,758.10 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 60,116.54 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 20,038.85 \text{ kg}$$

Con esta capacidad admisible, solo será necesario usar 4 pilotes, teniendo como capacidad por grupo que supera a las 80 toneladas solicitadas:

$$Q_{total} = 80,155.38 \text{ kg}$$

Incrementando la longitud del pilote, se podría diseñar de la siguiente manera:

- Diámetro: $D = 24''$
- Espesor: $e = 1/2''$
- Longitud: $L = 15\text{m}$

De tal manera, se obtendría la siguiente capacidad de carga:

$$Q_P = 5,358.43 \text{ kg}$$

$$Q_F = 76,267.85 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 81,626.28 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 27,208.76 \text{ kg}$$

Por tanto, solo sería necesario usar 3 pilotes:

$$Q_{total} = 81,626.28 \text{ kg}$$

Ello equivale a 45 metros de pilote, lo cual es menor a los 48 m del cálculo anterior (4 pilotes de 12m), y por ende resultaría más económico. Sin embargo, el hincado requeriría de un trabajo excesivo que inclusive podría afrontar un rechazo q no permita el ingreso de la totalidad del pilote. Ello, sumado al costo que implica soldar dos tubos para alcanzar dicha longitud.

Mientras tanto, las dos alternativas serían las siguientes:

4 pilotes $D=24"$, $e=1/2"$, $L=12m$ y 3 pilotes $D=24"$, $e=1/2"$, $L=15m$

Ambos pilotes presentan la siguiente capacidad estructural:

$$P_n = 515.88 \text{ t}$$

Para dicho cálculo se empleó la Ecuación 13 y se consideró un esfuerzo de fluencia de acero A53: $f_y = 250 \text{ MPa}$, lo que equivale a $2,548.42 \text{ kg/cm}^2$.

De tal manera, estructuralmente solo basta un pilote para abastecer el sistema. No obstante, este sistema de pilotes está dominado por el criterio geotécnico, pues el suelo va a fallar antes que la estructura, por ello, se priorizará el diseño geotécnico.

4.1.2. DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA

En este proyecto, según el criterio de diseño de NAVFAC no habría diferencia en capacidad de carga entre los pilotes con punta plana y con punta cónica, por lo tanto la elección del uso de punta se definirá en el CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

Como en el diseño anterior, se comenzará el diseño con las siguientes dimensiones para luego proceder con las iteraciones:

- Diámetro: $D = 16"$
- Espesor: $e = 3/8"$
- Longitud: $L = 12m$

Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 29,186.35 \text{ kg}$$

$$Q_F = 36,505.40 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 65,691.75 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 21,897.25 \text{ kg}$$

Para soportar las 80 toneladas de carga de servicio, se requeriría un total de 4 pilotes como mínimo, considerando la separación mínima de pilotes. No es un

número conveniente, por lo que se procederá a iterar con otros valores comerciales de diámetro y espesor:

- Diámetro: $D = 24''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 12\text{m}$

Se mantuvo el mismo espesor, ya que dicho valor no altera el resultado final, es decir, no influye en la estimación de la capacidad portante de pilotes huecos con punta. Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 65,669.29 \text{ kg}$$

$$Q_F = 54,758.10 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 120,427.39 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 40,142.46 \text{ kg}$$

Con esta capacidad admisible, solo será necesario usar 2 pilotes, teniendo como capacidad por grupo que supera a las 80 toneladas solicitadas:

$$Q_{total} = 80,284.93 \text{ kg}$$

Incrementando la longitud del pilote, se podría diseñar de la siguiente manera:

- Diámetro: $D = 24''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 15\text{m}$

De tal manera, se obtendría la siguiente capacidad de carga:

$$Q_P = 65,669.29 \text{ kg}$$

$$Q_F = 76,267.85 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 141,937.14 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 47,312.38 \text{ kg}$$

Aun así seguiría siendo necesario usar 2 pilotes. En tal sentido, no resulta conveniente usar longitudes mayores a 12m.

Por tanto, se usará la siguiente alternativa:

2 pilotes D=24", e=3/8", L=12m

Esta presenta la siguiente capacidad estructural:

$$P_n = 388.96 \text{ t}$$

De tal manera, estructuralmente solo basta un pilote para abastecer el sistema.

4.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Comparando en metros lineales, se tiene que para satisfacer el sistema de cargas con pilotes íntegramente huecos se requiere de 45 o 48 m, mientras que con pilotes con punta, solamente se necesita 24 m. Ello equivale a una gran reducción.

Lo anterior se debe a que la capacidad por fuste es mucho menor que la capacidad por punta: la adhesión del suelo con el acero es bajo, menor que con el concreto o la madera.

4.2. CENTRO COMERCIAL TARAPOTO, SAN MARTÍN

Como se trata de un suelo friccionante, se requiere de los valores de ángulos de fricción y densidad de los estratos de suelo. Como ya se estableció, se diseñará la cimentación para la zapata más próxima a la perforación P-04, la cual se ubica en la intersección de los ejes 7 y E, en donde la carga en servicio transmitida es de 79 t:

Carga muerta: $CM = 130.0 \text{ kg/m}^2$

Carga viva: $SC = 587.0 \text{ kg/m}^2$

Área tributaria: $A_T = 110.25 \text{ m}^2$

Carga de servicio: $Q_s = 79,049.25 \text{ kg}$

Las elevaciones de los pisos condicionan la profundidad de los pilotes, presentando una cota de extremo superior a 1 m bajo el nivel del terreno. No obstante, como ya se determinó en el capítulo anterior, en el perfil de suelo se presenta un estrato licuable entre los 6 y 7 metros de profundidad, por lo que el pilote o grupo de pilotes comenzarían a adquirir capacidad de carga por fuste a partir de los 7m.

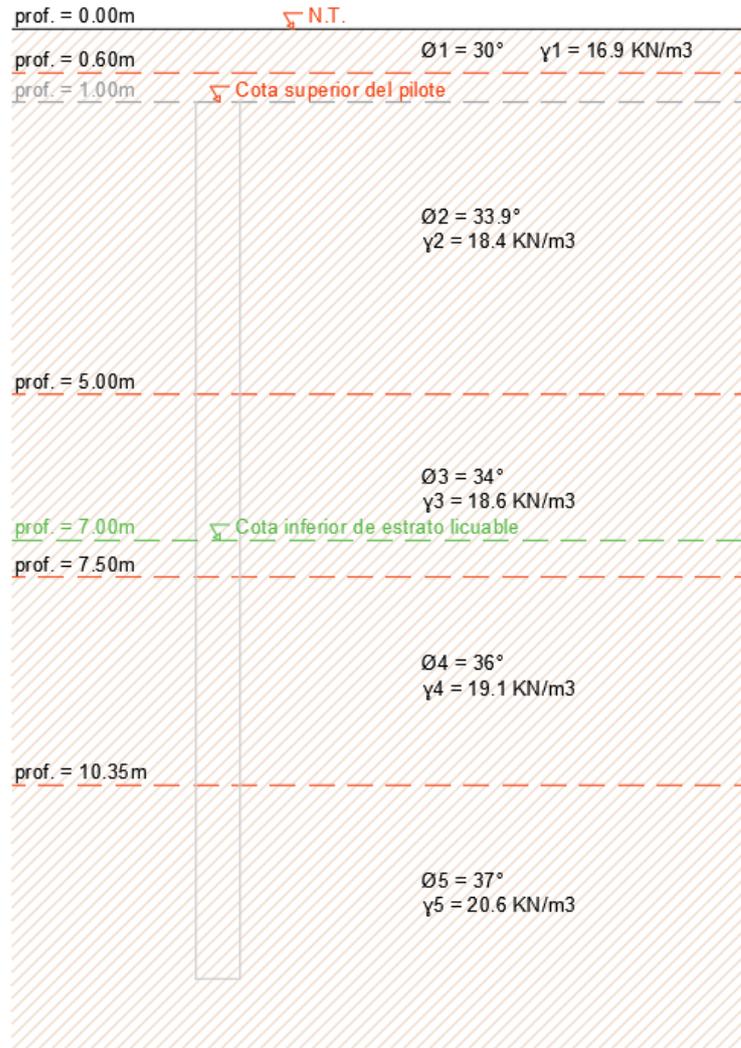


Figura 15. Perfil de suelos en perforación P-04 (Elaboración propia, 2020)

A diferencia del análisis del Mall Iquitos, este perfil de suelo está conformado netamente por estratos friccionantes, donde la cohesión es cero.

Se tiene el siguiente diagrama de presiones:

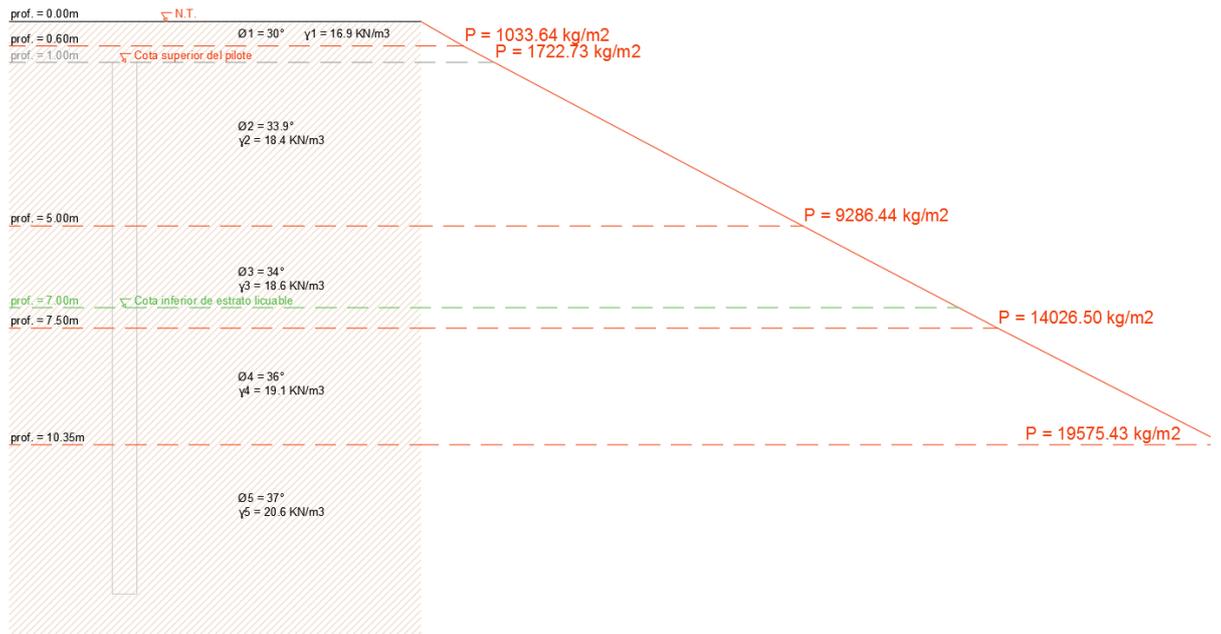


Figura 16. Diagrama de presiones en perforación P-04 (Elaboración propia, 2020)

En comparación al diagrama correspondiente al Mall Iquitos (Figura 14), las presiones de la Figura 16 son mayores. Esto es debido a la mayor densidad que presentan las arenas en comparación a la arcilla.

Debido a la presencia del estrato licuable entre los 6 y 7 metros, resulta necesario el uso de pilotes largos, por lo que en este caso no se podrá limitar el tamaño a 12m. Se deberá traslapar la pieza con otra, generando gastos adicionales.

Para la estimación del Factor de Capacidad de Carga (N_q), se empleó la Tabla 2, considerando que la punta del pilote yacerá en el quinto estrato, superando la longitud de 9.35m. De tal manera, a partir del ángulo de fricción del suelo de 37° se obtuvo el valor de $N_q = 77$.

Asímismo, tratándose de pilotes de acero, en base a la

Tabla 4, se considerará un ángulo de fricción entre el pilote y el suelo $\delta = 20^\circ$.

Con respecto al valor del Coeficiente de presión de tierra K_{HC} , este variará en relación al tipo de pilote: Pilote hueco, Pilote con punta plana, Pilote con punta cónica.

4.2.1. DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS

Como ya se mencionó, el Coeficiente de presión de tierra K_{HC} depende del tipo de pilote. Para este caso, según la Tabla 3, el valor de K_{HC} varía entre 0.5 y 1.0, por lo que se considerará el promedio de ambos:

$$K_{HC} = 0.75$$

Se comenzará el diseño con las siguientes dimensiones para luego proceder con las iteraciones:

- Diámetro: $D = 16''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 12m$

Bajo esta longitud, la presión efectiva en la punta es $P_T = 25140.16 \text{ kg/m}^2$.

Como se trata de un suelo friccionante, se empleó la Ecuación 2 para el cálculo de la capacidad última. En base a ello se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 22,989.39 \text{ kg}$$

$$Q_F = 39,699.20 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 62,688.59 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 20,896.20 \text{ kg}$$

Se observa que el valor de capacidad por punta en este análisis es mucho mayor que en el análisis del Mall Iquitos, es casi 9 veces su valor. Esto se debe a que la arena genera mayor capacidad de punta que los suelos cohesivos.

Como la columna sobre la zapata transfiere una carga en servicio de 79 toneladas, se requeriría un total de 4 pilotes como mínimo para soportarla, considerando una distribución conveniente para que no se reduzca la capacidad del pilote por el trabajo en grupo.

No es un número conveniente, por lo que se procederá a iterar con otro diámetro y espesor comerciales.

Después de múltiples iteraciones, se pudo determinar una longitud suficiente para para soportar la carga solicitada, de tal manera que no se llegue a un exceso que podría conllevar a la imposibilidad del hincado de la totalidad del pilote:

- Diámetro: $D = 24''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 13.5\text{m}$

El aumento de espesor a $1/2''$ sí generaría un significativo aumento de la capacidad por punta; sin embargo, dicho aumento también aumentaría el peso del pilote, lo cual sería inconveniente e innecesario.

Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 39,115.08 \text{ kg}$$

$$Q_F = 80,498.12 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 119,613.20 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 39,871.07 \text{ kg}$$

Con esta capacidad admisible, solo será necesario usar 2 pilotes, teniendo como capacidad por grupo que supera a las 79 toneladas solicitadas:

$$Q_{total} = 79,742.13 \text{ kg}$$

Por tanto, se usará la siguiente alternativa:

$$2 \text{ pilotes } D=24'', e=3/8'', L=13.5\text{m}$$

Esta presenta la siguiente capacidad estructural:

$$P_n = 388.96 \text{ t}$$

De tal manera, estructuralmente solo basta un pilote para abastecer el sistema.

4.2.2. DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA PLANA

En este proyecto, según el criterio de diseño de NAVFAC la capacidad de carga varía entre los pilotes con punta plana y con punta cónica debido al factor K_{HC} . Ello es efecto del hincado, el cual es diferente para cada tipo de punta y por ende producen distintos mecanismos de empujes que generan distintos aumentos en la fricción lateral del suelo con el pilote. Para este caso, según la Tabla 3, el valor de K_{HC} varía entre 1.0 y 1.5, por lo que se considerará el promedio de ambos:

$$K_{HC} = 1.25$$

Como en el diseño anterior, se comenzará el diseño con las siguientes dimensiones para luego proceder con las iteraciones:

- Diámetro: $D = 16''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 12\text{m}$

Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 251,105.43 \text{ kg}$$

$$Q_F = 66,165.34 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 317,270.76 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 105,756.92 \text{ kg}$$

Esta carga resulta mucho más que necesaria para soportar las 79 toneladas de carga de servicio, lo que implicaría un sobredimensionamiento. Por lo tanto, se probará con otro diámetro comercial inferior:

- Diámetro: $D = 12''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 14\text{m}$

Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 164,842.82 \text{ kg}$$

$$Q_F = 73,358.43 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 238,201.25 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 79,400.42 \text{ kg}$$

Con esta capacidad admisible, solo será necesario usar 1 pilote, teniendo como capacidad por grupo que supera a las 79 toneladas solicitadas.

No obstante, también se tiene la alternativa de mantener el diámetro inicial de $16''$ y reducir la longitud del pilote. Por tanto, se podría diseñar de la siguiente manera:

- Diámetro: $D = 16''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 10\text{m}$

De tal manera, se obtendría la siguiente capacidad de carga:

$$Q_P = 209,156.95 \text{ kg}$$

$$Q_F = 39,398.51 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 248,555.46 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 82,851.82 \text{ kg}$$

Esta capacidad admisible es superior a la anterior y, de igual manera, solo bastaría un pilote para resistir las 70 toneladas.

Asimismo, un pilote con estas dimensiones pesa menos que con las dimensiones anteriores:

$$1 \text{ pilote } D=12", e=3/8", L=14\text{m} \quad \text{Peso} = 976.50 \text{ kg}$$

$$1 \text{ pilote } D=16", e=3/8", L=10\text{m} \quad \text{Peso} = 941.96 \text{ kg}$$

Como otra ventaja, la longitud menor (10m) permitiría la factibilidad del hincado, pues habría menor riesgo de que no se pueda hincar todo el pilote. No obstante, el aumento de diámetro (16") implicaría un aumento de costo de instalación, tema evaluado con más detalle en el Capítulo V.

Por lo tanto, se tiene las alternativas:

$$1 \text{ pilote } D=12", e=3/8", L=14\text{m} \quad \text{y} \quad 1 \text{ pilote } D=16", e=3/8", L=10\text{m}$$

Estas presentan las siguientes capacidades estructurales:

$$P_n = 191.40 \text{ t} \quad \text{y} \quad P_n = 257.25 \text{ t}$$

De tal manera, estructuralmente, en ambos casos, solo basta un pilote para abastecer el sistema.

4.2.3. DISEÑO CON PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA CÓNICA

Para este caso, según la Tabla 3, el valor de K_{HC} varía entre 1.5 y 2.0, por lo que se considerará el promedio de ambos:

$$K_{HC} = 1.75$$

Este valor es mayor al de los pilotes con punta plana, debido a que la punta cónica permite un mejor empuje del suelo y, por ende, implica un mayor mejoramiento del suelo, incrementando la capacidad por fuste.

Se comenzará el diseño con las siguientes dimensiones:

- Diámetro: $D = 16''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 12m$

Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 251,105.43 \text{ kg}$$

$$Q_F = 92,631.47 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 343,736.90 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 114,578.97 \text{ kg}$$

Esta carga resulta es mucho mayor que 79 toneladas. Por lo tanto, se probará con otro diámetro comercial inferior:

- Diámetro: $D = 12''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 13m$

Tras algunas iteraciones, se determinó que los 13 metros resultan suficientes. Se obtuvo los siguientes resultados:

$$Q_P = 153,044.81 \text{ kg}$$

$$Q_F = 85,447.33 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 238,492.14 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 79,497.38 \text{ kg}$$

Solo basta usar 1 pilote, teniendo como capacidad por grupo mayor a las 79 toneladas solicitadas.

No obstante, al igual que en el caso del pilote con punta plana, también se tiene la alternativa de mantener el diámetro inicial de 16" y reducir la longitud del pilote. Por tanto, se podría diseñar de la siguiente manera:

- Diámetro: $D = 16''$
- Espesor: $e = 3/8''$
- Longitud: $L = 9.5\text{m}$

Frente a los 7 metros de profundidad del suelo licuable, esta longitud de pilote implica un empotrado de tan solo 3.5m del pilote.

De tal manera, se obtendría la siguiente capacidad de carga:

$$Q_P = 198,669.83 \text{ kg}$$

$$Q_F = 46,856.82 \text{ kg}$$

$$Q_{ULT} = 245,526.65 \text{ kg}$$

$$Q_{adm} = 81,842.22 \text{ kg}$$

Esta capacidad admisible es superior a la anterior y, de igual manera, solo bastaría un pilote para resistir las 70 toneladas. Asimismo, un pilote con estas dimensiones pesa menos que con las dimensiones anteriores:

$$1 \text{ pilote } D=12'', e=3/8'', L=13\text{m} \quad \text{Peso} = 908.21 \text{ kg}$$

$$1 \text{ pilote } D=16'', e=3/8'', L=9.5\text{m} \quad \text{Peso} = 896.46 \text{ kg}$$

Por lo tanto, se tiene las alternativas:

$$1 \text{ pilote } D=12'', e=3/8'', L=13\text{m} \quad \text{y} \quad 1 \text{ pilote } D=16'', e=3/8'', L=9.5\text{m}$$

Estas presentan las siguientes capacidades estructurales:

$$P_n = 191.40 \text{ t} \quad \text{y} \quad P_n = 257.25 \text{ t}$$

De tal manera, estructuralmente, en ambos casos, solo basta un pilote para abastecer el sistema.

4.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el caso del Centro Comercial Tarapoto la reducción de la cantidad de acero es mayor que en el del Mall Iquitos, pues en lugar de requerir 2 pilotes huecos de 24" de diámetro se puede usar solamente 1 pilote con punta con la mitad de diámetro.

Esta gran reducción se debe a la arena que aporta una mucha mayor capacidad por punta que las arcillas. Asimismo, Lo anterior se debe a que la capacidad por fuste es mucho menor que la capacidad por punta: la adhesión del suelo con el acero es bajo, menor que con el concreto o la madera.

De igual manera, el uso de punta cónica en lugar de punta plana también implica una reducción de acero, pero solamente en suelos arenosos, como en este ejemplo del Centro Comercial Tarapoto.

4.3. RESUMEN DE RESULTADOS

En base a los resultados anteriores, fue armado el siguiente cuadro de resumen:

Tabla 18. Cuadro de resumen de pilotes (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	SIN PUNTA		PUNTA PLANA		PUNTA CÓNICA	
	ALTERNATIVA	Qadm (t)	ALTERNATIVA	Qadm (t)	ALTERNATIVA	Qadm (t)
MALL AVENTURA IQUITOS	4 pilotes D=24", e=1/2", L=12m	80.16	-	-	2 pilotes D=24", e=3/8", L=12m	80.28
	3 pilotes D=24", e=1/2", L=15m	81.63	-	-	-	-
CENTRO COMERCIAL TARAPOTO	2 pilotes D=24", e=3/8", L=13.5m	79.74	1 pilote D=12", e=3/8", L=14m	79.400	1 pilote D=12", e=3/8", L=13m	79.50
	-	-	1 pilote D=16", e=3/8", L=10m	82.851	1 pilote D=16", e=3/8", L=9.5m	81.84

La reducción de pilotes con la incorporación de punta es significativa: supera el 50%, por lo cual resultaría absurdo no incorporar la punta en los pilotes de acero.

Se emplean los pilotes huecos de acero, ya que por lo general, en los proyectos de pilotes hincados se asume que se producirá el taponamiento total de los pilotes, lo que aportaría una íntegra capacidad por punta. Sin embargo, no es completamente certero que se produzca taponamiento y que actúe tal cual una punta soldada. Por ello, en este trabajo no se considera este fenómeno.

La evaluación del proceso de instalación de los tres tipos de pilotes de acero analizados con sus respectivos costos se encuentra en los siguientes capítulos (V y VI).

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Para evaluar el proceso constructivo de cada alternativa de pilotes propuesta en el capítulo anterior, se consideró tres factores importantes:

- Diseño de la punta: Dimensionamiento de la punta del pilote
- Hincado de pilotes: Elección de martillo de hincado
- Diseño del cabezal: Diseño de la unión del pilote con el cabezal

5.1. DISEÑO DE LA PUNTA

Como criterio para el diseño de la punta, se trabajó con el mismo espesor del pilote. Respecto a la punta cónica, se consideró una altura igual al diámetro del pilote, tal como se observa en la Figura 17.

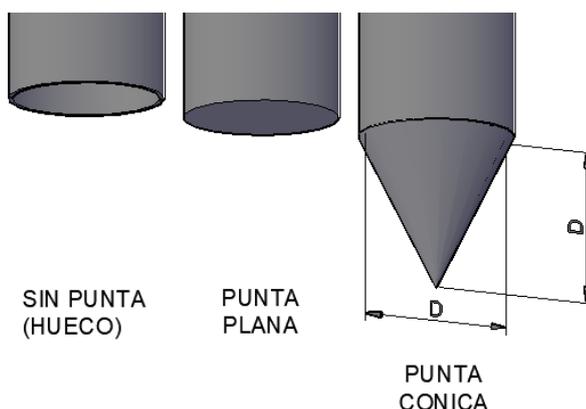


Figura 17. Puntas de pilote de acero (Elaboración propia, 2020)

De tal manera, se tiene los siguientes volúmenes de acero:

Tabla 19. Volumen de acero en la punta (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	MALL IQUITOS			CENTRO COMERCIAL TARAPOTO				
	SIN PUNTA		PUNTA CONICA	SIN PUNTA	PUNTA PLANA		PUNTA CONICA	
ALTERNATIVA	4 Φ24", e=1/2"	3 Φ24", e=1/2"	2 Φ24", e=3/8"	2 Φ24", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"
NÚMERO DE PILOTES	4	3	2	2	1	1	1	1
DIÁMETRO EXTERIOR (pulg)	24	24	24	24	12	16	12	16
ESPESOR (pulg)	1/2	1/2	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
VOLUMEN DE PUNTA (m3)	0	0	0.00622	0	0.00069	0.00124	0.00155	0.00276

5.2. HINCADO DE PILOTES

Para determinar el hincado se empleó la Ecuación 26, del libro de Ingeniería Portuaria del Ing. Cesar Fuentes.

5.2.1. MALL AVENTURA IQUITOS, LORETO

5.2.1.1. HINCADO DE PILOTES DE ACERO HUECOS

- **PRIMERA ALTERNATIVA: 4 pilotes D=24", e=1/2", L=12m**

El peso de un pilote hueco de D=24", e=1/2", L=12m sería el siguiente:

$$Q = 2,243.40 \text{ kg}$$

Se recomienda usar un martillo con peso aproximado a un tercio del peso del pilote, tal cual indica la Ecuación 27:

$$Q/3 = 747.80 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-8, donde:

$$\text{Peso: } R = 800 \text{ kg} \quad \text{y} \quad \text{Energía } E = 2,038.74 \text{ kg-m}$$

Asimismo, se tiene:

- W = 20.04 t (Capacidad de carga final para el pilote)
- C = 0.3 (Pilotes de acero)
- Un coeficiente de seguridad igual a 2

Con ello, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$$s = 9.77 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 11 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

En tal sentido, se confirma que en los 10 últimos golpes seguirá habiendo penetración y, por ende, el pilote podrá ser hincado en su totalidad con el Martillo Delmag D-8.

- **SEGUNDA ALTERNATIVA: 3 pilotes D=24", e=1/2", L=15m**

El peso de un pilote hueco de D=24", e=1/2", L=15m sería el siguiente:

$$Q = 2,804.25 \text{ kg}$$

$$Q/3 = 934.75 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-12, donde:

$$\text{Peso: } R = 1,280 \text{ kg} \quad \text{y} \quad \text{Energía } E = 3,363.91 \text{ kg-m}$$

Para un $W = 27.21 \text{ t}$, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$$s = \mathbf{14.87 \text{ mm/golpe}}$$
 lo que equivale a $\mathbf{7 \text{ golpes/10cm de penetración}}$

En tal sentido, se confirma que en los 10 últimos golpes seguirá habiendo penetración y, por ende, el pilote podrá ser hincado en su totalidad con el Martillo Delmag D-12.

También podría darse a cabo el hincado con un Martillo Delmag D-8, dando como resultado el siguiente valor de s :

$$s = \mathbf{3.82 \text{ mm/golpe}}$$
 lo que equivale a $\mathbf{27 \text{ golpes/10cm de penetración}}$

No obstante, resulta un número elevado de golpes y, por tanto, un mayor tiempo de hincado y de alquiler de maquinaria. Por lo tanto, sería más conveniente usar el Martillo Delmag D-12.

5.2.1.2. HINCADO DE PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA

Como se dedujo en el capítulo anterior, se escogió una punta cónica debido a su mayor factibilidad de hincado y potencial de mejorar el suelo por medio del empuje, pese a ser más complicado de fabricar y pese a no denotar diferencia en capacidad portante con el pilote de punta plana.

Se escogió como única alternativa usar 2 pilotes de $D=24"$, $e=3/8"$, $L=12\text{m}$, el cual, sumado con la punta de 10cm de altura, tiene un peso de:

$$Q = 1,714.47 \text{ kg}$$

$$Q/3 = 571.49 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-6, donde:

$$\text{Peso: } R = 600 \text{ kg} \quad \text{y} \quad \text{Energía } E = 1,427.12 \text{ kg-m}$$

Para un $W = 40.14$ t, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$$s = 1.01 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 100 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

El pilote podrá ser hincado en su totalidad con el Martillo Delmag D-6. No obstante, resulta un número muy elevado de golpes para solo 10 centímetros de penetración. Por lo tanto, sería más conveniente usar el Martillo Delmag D-8, dando como resultado el siguiente valor de s :

$$s = 4.48 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 23 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

Este resulta un número de golpes más trabajable en comparación a los 100 golpes del Delmag D-6.

5.2.2. CENTRO COMERCIAL TARAPOTO, SAN MARTÍN

5.2.2.1. HINCADO DE PILOTES DE ACERO HUECOS

Se escogió como única alternativa usar 2 pilotes de $D=24"$, $e=3/8"$, $L=13.5$ m, el cual tiene un peso de:

$$Q = 1,902.93 \text{ kg}$$

$$Q/3 = 634.31 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-6.

Para un $W = 39.87$ t, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$$s = 0.24 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 417 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

El número de golpes es demasiado elevado, por lo que sería recomendable usar el Martillo Delmag D-8, dando como resultado el siguiente valor de s :

$$s = 3.52 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 29 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

Este resulta un número de golpes más trabajable en comparación a los 417 golpes del Delmag D-6.

5.2.2.2. HINCADO DE PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA PLANA

- **PRIMERA ALTERNATIVA: 1 pilote D=12", e=3/8", L=14m**

El peso de un pilote hueco de D=12", e=3/8", L=14m, sumado a la punta plana del mismo espesor, sería el siguiente:

$$Q = 976.50 \text{ kg}$$

$$Q/3 = 325.50 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-6.

Para un $W = 79.40 \text{ t}$, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$$s = -0.78 \text{ mm/golpe}$$

Se obtiene un valor negativo, lo que significa que el pilote encontrará rechazo antes de alcanzar el hincado total. Por lo tanto, debe usarse un martillo más pesado. Probando con el Martillo Delmag D-8, se obtiene:

$$s = 1.58 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 64 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

El número de golpes es algo elevado, por lo que resulta más conveniente usar el Martillo Delmag D-12, dando como resultado el siguiente valor de s:

$$s = 7.82 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 13 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

Este resulta un número de golpes más trabajable en comparación a los 64 golpes del Delmag D-8.

Estos valores bajos de "s" se deben al elevado valor de capacidad de carga final "W" correspondiente al pilote.

- **SEGUNDA ALTERNATIVA: 1 pilote D=16", e=3/8", L=10m**

El peso de un pilote hueco de D=16", e=3/8", L=10m, sumado a la punta plana del mismo espesor, sería el siguiente:

$$Q = 941.96 \text{ kg}$$

$$Q/3 = 313.99 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-6.

Para un $W = 82.85$ t, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$$s = 0.35 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 285 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

Se requiere demasiados golpes, por lo que se probará usar el Martillo Delmag D-8, dando como resultado el siguiente valor de s:

$$s = 2.65 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 38 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

El número de golpes es algo elevado, por lo que resulta más conveniente usar el Martillo Delmag D-12, dando como resultado el siguiente valor de s:

$$s = 8.70 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 12 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

Este resulta un número de golpes más trabajable en comparación a los 38 golpes del Delmag D-8.

5.2.2.3. HINCADO DE PILOTES DE ACERO HUECOS CON PUNTA CÓNICA

- PRIMERA ALTERNATIVA: 1 pilote D=12", e=3/8", L=13m

El peso de un pilote hueco de D=12", e=3/8", L=13m, sumado con la punta de 10cm de altura, sería el siguiente:

$$Q = 908.21 \text{ kg}$$

$$Q/3 = 302.74 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-6.

Para un $W = 79.50$ t, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$$s = -0.33 \text{ mm/golpe}$$

Se obtiene un valor negativo, lo que significa que el pilote encontrará rechazo antes de alcanzar el hincado total. Por lo tanto, debe usarse un martillo más pesado. Probando con el Martillo Delmag D-8, se obtiene:

$$s = 2.11 \text{ mm/golpe} \quad \text{lo que equivale a} \quad 48 \text{ golpes/10cm de penetración}$$

El número de golpes es algo elevado, por lo que resulta más conveniente usar el Martillo Delmag D-12, dando como resultado el siguiente valor de s:

$s = 8.48 \text{ mm/golpe}$ lo que equivale a **12 golpes/10cm de penetración**

Este resulta un número de golpes más trabajable en comparación a los 64 golpes del Delmag D-8.

- **SEGUNDA ALTERNATIVA: 1 pilote D=16", e=3/8", L=9.5m**

El peso de un pilote hueco de D=16", e=3/8", L=9.5m, sumado a la punta plana del mismo espesor, sería el siguiente:

$$Q = 896.46 \text{ kg}$$

$$Q/3 = 298.82 \text{ kg}$$

Por tanto, el martillo indicado sería el Delmag D-6.

Para un $W = 81.84 \text{ t}$, se determinó la siguiente penetración media permanente durante los 10 últimos golpes:

$s = 0.65 \text{ mm/golpe}$ lo que equivale a **155 golpes/10cm de penetración**

Se requiere demasiados golpes, por lo que se probará usar el Martillo Delmag D-8, dando como resultado el siguiente valor de s:

$s = 3.02 \text{ mm/golpe}$ lo que equivale a **34 golpes/10cm de penetración**

El número de golpes es algo elevado, por lo que resulta más conveniente usar el Martillo Delmag D-12, dando como resultado el siguiente valor de s:

$s = 9.24 \text{ mm/golpe}$ lo que equivale a **11 golpes/10cm de penetración**

Este resulta un número de golpes más trabajable en comparación a los 38 golpes del Delmag D-8.

5.2.3. RESUMEN DE RESULTADOS

En base a los resultados anteriores, se pudo determinar que los pilotes de las alternativas sí pueden ser hincados con martillos sin llegar al rechazo antes de su instalación total. Se pudo armar un cuadro de resumen en la Tabla 20:

Tabla 20. Cuadro de resumen de martillos a usar (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	SIN PUNTA			PUNTA PLANA			PUNTA CÓNICA		
	ALT.	MARTILLO	s (mm/golpe)	ALT.	MARTILLO	s (mm/golpe)	ALT.	MARTILLO	s (mm/golpe)
MALL AVENTURA IQUITOS	4 Φ 24", e=1/2", L=12m	Delmag D-8	9.77	-	-	-	2 Φ 24", e=3/8", L=12m	Delmag D-8	4.48
				-	-	-			
	3 Φ 24", e=1/2", L=15m	Delmag D-8	3.82	-	-	-	-	-	-
Delmag D-12		14.87	-	-	-	-	-	-	
CENTRO COMERCIAL TARAPOTO	2 Φ 24", e=3/8", L=13.5m	Delmag D-8	3.52	1 Φ 12", e=3/8", L=14m	Delmag D-8	1.58	1 Φ 12", e=3/8", L=13m	Delmag D-8	2.11
					Delmag D-12	7.82		Delmag D-12	8.48
	-	-	-	1 Φ 16", e=3/8", L=10m	Delmag D-8	2.65	1 Φ 16", e=3/8", L=9.5m	Delmag D-8	3.02
	-	-	-		Delmag D-12	8.70		Delmag D-12	9.24

Los pilotes con punta se hincan a menor penetración con los últimos golpes debido a la elevada carga última "W" que deben alcanzar a finalizar su hincado.

5.3. DISEÑO DE CABEZAL

No solo es importante definir el pilote o cantidad de pilotes necesarios para resistir la carga solicitada, sino también la transmisión de carga de la zapata o cabeza a los pilotes. Para ello, se plantea traslapar 20 cm del pilote con la zapata y rellenar un metro del extremo superior del pilote con concreto, tal cual la Figura 18. A continuación se evaluará si dicha conexión pilote-cabezal soportará la carga a compresión solicitada.

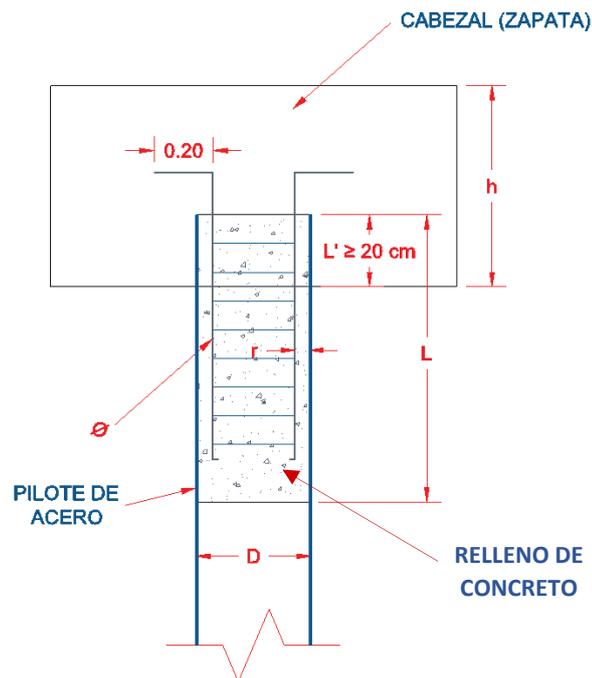


Figura 18. Unión de pilote y zapata (Elaboración propia, 2020)

En la Figura 18:

- La altura “h” depende del dimensionamiento y la fuerza cortante
- “D” es el diámetro del pilote
- “L” es la longitud del relleno de concreto en el interior del pilote que depende del punzonamiento. Se evaluará la adherencia con $L=1\text{m}$
- \emptyset es el diámetro de armadura longitudinal
- El número de barras depende de la Fuerza Cortante
- “r” es el recubrimiento

En este caso, se considerará el siguiente valor del esfuerzo de adherencia del concreto $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ con acero tubular liso:

300 t/m²

De tal manera, se determinó que solo basta rellenar concreto en la parte superior de los pilotes con valores de L menores a 1m, tal como se observa en la Tabla 21, por lo cual, se rellenará 1m de concreto en todos los casos para garantizar una mayor seguridad.

Tabla 21. Alturas de relleno de concreto "L" (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	MALL IQUITOS			CENTRO COMERCIAL TARAPOTO				
	SIN PUNTA		PUNTA CONICA	SIN PUNTA	PUNTA PLANA		PUNTA CONICA	
ALTERNATIVA	4 Φ24", e=1/2"	3 Φ24", e=1/2"	2 Φ24", e=3/8"	2 Φ24", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"
DIÁMETRO EXTERIOR (plg)	24	24	24	24	12	16	12	16
ESPELOR (plg)	1/2	1/2	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
DIÁMETRO INTERIOR (plg)	23	23	23.25	23.25	11.25	15.25	11.25	15.25
PERÍMETRO (m)	1.835	1.835	1.855	1.855	0.898	1.217	0.898	1.217
ALTURA DE REFUERZO DE CONCRETO "L" (m)	0.1	0.1	0.15	0.15	0.6	0.5	0.6	0.45
ÁREA LATERAL DE CONTACTO (m ²)	0.184	0.184	0.278	0.278	0.539	0.608	0.539	0.548
CARGA A COMPRESIÓN MÁXIMA QUE TRANSMITE EL REFUERZO DE CONCRETO (t)	55.06	55.06	83.49	83.49	161.59	182.53	161.59	164.28
CARGA A COMPRESIÓN ADMISIBLE QUE TRANSMITE EL REFUERZO DE CONCRETO (t)	27.53	27.53	41.74	41.74	80.79	91.27	80.79	82.14
CAPACIDAD ADMISIBLE MÁXIMA ASIGNADA POR PILOTE (t)	20.04	27.21	40.14	39.87	79.40	82.85	79.50	81.84
CUMPLE REZUERZO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Respecto al acero, de acuerdo a la Figura 18, se emplearía barras de acero de 1.20m de longitud. Puesto que el presente trabajo de investigación tiene como enfoque central el diseño y construcción de los pilotes, se omitirá el diseño a precisión del acero y se dispondrá a trabajar con una cuantía de 1%.

En base a lo anterior, se pudo calcular los volúmenes de relleno de concreto y los pesos de acero de anclaje para cada caso, los cuales se puede observar en la Tabla 22.

Tabla 22. Concreto de relleno y acero de anclaje (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	MALL IQUITOS			CENTRO COMERCIAL TARAPOTO				
	SIN PUNTA		PUNTA CONICA	SIN PUNTA	PUNTA PLANA		PUNTA CONICA	
ALTERNATIVA	4 Φ24", e=1/2"	3 Φ24", e=1/2"	2 Φ24", e=3/8"	2 Φ24", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"
VOLUMEN DE CONCRETO POR PILOTE (m3)	0.268	0.268	0.274	0.274	0.064	0.118	0.064	0.118
VOLUMEN DE CONCRETO TOTAL (m3)	1.072	0.804	0.548	0.548	0.064	0.118	0.064	0.118
CUANTÍA DE ACERO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
As (m2)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001
# BARRAS DE 3/4" POR PILOTE	10	10	10	10	3	5	3	5
LONGITUD DE BARRAS (m)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
PESO DE ACERO POR PILOTE (kg)	26.85	26.85	26.85	26.85	8.06	13.43	8.06	13.43
PESO TOTAL DE ACERO (kg)	107.40	80.55	53.70	53.70	8.06	13.43	8.06	13.43

Respecto a la zapata, se propone las siguientes, siendo que cumplen con el espaciamiento mínimo entre borde de pilote con borde de zapata mayor al diámetro del pilote:

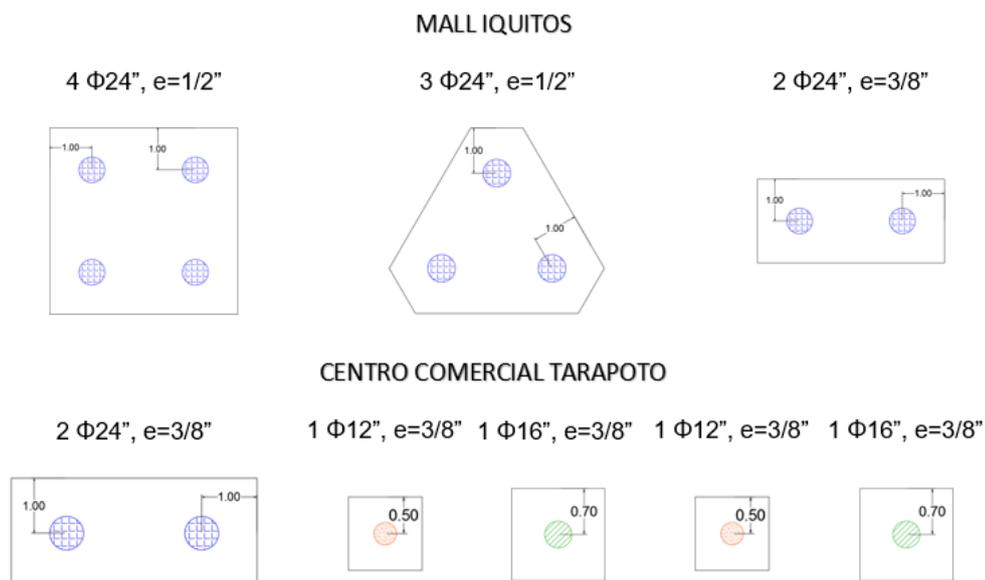


Figura 19. Zapatas (Elaboración propia, 2020)

Asimismo, para no incurrir a la reducción de capacidad de carga por grupo, se decidió separar los pilotes entre sí a una distancia equivalente al cuádruple del diámetro de los pilotes, tal como se aprecia en la Figura 19 y se detalla en la Tabla 23. Como última consideración, ya que se tratan de cargas no muy elevadas, solo basta una altura de zapata de 60cm para resistir por corte y punzonamiento. Con todo ello, se pudo calcular el volumen de concreto de la zapatas:

Tabla 23. Volumen de concreto en las zapatas (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	MALL IQUITOS			CENTRO COMERCIAL TARAPOTO				
	SIN PUNTA		PUNTA CONICA	SIN PUNTA	PUNTA PLANA		PUNTA CONICA	
ALTERNATIVA	4 $\Phi 24''$, e=1/2''	3 $\Phi 24''$, e=1/2''	2 $\Phi 24''$, e=3/8''	2 $\Phi 24''$, e=3/8''	1 $\Phi 12''$, e=3/8''	1 $\Phi 16''$, e=3/8''	1 $\Phi 12''$, e=3/8''	1 $\Phi 16''$, e=3/8''
NÚMERO DE PILOTES	4	3	2	2	1	1	1	1
DIÁMETRO EXTERIOR (pulg)	24	24	24	24	12	16	12	16
ESPESOR (pulg)	1/2	1/2	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	3/8
DIÁMETRO INTERIOR (pulg)	23	23	23.25	23.25	11.25	15.25	11.25	15.25
ALTURA DE ZAPATA (m)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
FORMA DE ZAPATA								
ÁREA DE ZAPATA (m ²)	19.699	13.354	8.877	8.877	1.000	1.960	1.000	1.960
DISTANCIA ENTRE EJES DE PILOTES: s=4D (m)	2.438	2.438	2.438	2.438	1.219	1.626	1.219	1.626
VOLUMEN DE CONCRETO TOTAL (m ³)	11.586	7.837	5.209	5.209	0.585	1.150	0.585	1.150

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS Y PRESUPUESTOS DE LOS MODELOS DE CIMENTACIÓN

Para la formulación de los APUS, se recopiló información de la DATA de la empresa P.S.V. Constructores. Para realizar una comparación más amplia de costos, se incluyó las siguientes partidas en los presupuestos de cada alternativa, ya que se trata de partidas en las que sí impacta la elección de los pilotes:

- Suministro de tuberías de acero
- Pilotaje
- Descabezado de pilotes
- Cabezal de pilotes

Respecto al suministro de tuberías, se cotizó por kg, considerando el peso total del pilote con punta incorporada:

Tabla 24. Peso de pilotes (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	SIN PUNTA		PUNTA PLANA		PUNTA CÓNICA	
	OPCIÓN	Peso por pilote (kg)	OPCIÓN	Peso por pilote (kg)	OPCIÓN	Peso por pilote (kg)
MALL AVENTURA IQUITOS	4 pilotes D=24", e=1/2", L=12m	2,243.40	-	-	2 pilotes D=24", e=3/8", L=12m	1,740.30
	3 pilotes D=24", e=1/2", L=15m	2,804.25	-	-	-	-
CENTRO COMERCIAL TARAPOTO	2 pilotes D=24", e=3/8", L=13.5m	1,902.93	1 pilote D=12", e=3/8", L=14m	976.50	1 pilote D=12", e=3/8", L=13m	913.88
	-	-	1 pilote D=16", e=3/8", L=10m	941.96	1 pilote D=16", e=3/8", L=9.5m	907.34

Para la partida de Pilotaje, se empleó los siguientes APUS:

- PILOTES Φ 12" E=3/8"
- PILOTES Φ 16" E=3/8"
- PILOTES Φ 24" E=3/8"
- PILOTES Φ 24" E=1/2"

Se trabajó con los rendimientos de dichos APUS, independientemente del tipo de punta. Como se menciona a lo largo de este trabajo, no se puede determinar con total certidumbre la capacidad del taponamiento de los pilotes huecos, y, por ende, no se puede definir si dicho tapón de tierra puede llegar a aumentar el rendimiento de hincado de este tipo de pilotes hasta asemejarlo al rendimiento de hincado de un pilote con punta.

Asimismo, para todas las alternativas se consideró el uso del Martillo Delmag D12, el cual, de acuerdo a la Tabla 20, tiene la capacidad de hincar los pilotes de todas las alternativas en su totalidad.

Considerando lo anterior, se armó los APUS con la cuadrilla especificada en la Tabla 25, y los materiales y equipos detallados en la Tabla 26:

Tabla 25 Cuadrilla de mano de obra (PSV, 2020)

MANO DE OBRA	CUADRILLA
CAPATAZ	0.10
OPERADOR MANIOBRISTA	3.00
OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	1.00
RIGGER	1.00
OPERARIO GRUERO	1.00

Tabla 26 Materiales y equipos para hincado de pilotes (PSV, 2020)

APU	HINCADO DE PILOTES Φ 12" E=3/8"		HINCADO DE PILOTES Φ 16" E=3/8"		HINCADO DE PILOTES Φ 24" E=3/8"		HINCADO DE PILOTES Φ 24" E=1/2"	
	CANT.	PU (S/)						
RENDIMIENTO (m/dia)	72		60		48		38	
MATERIALES	CANT.	PU (S/)						
PETROLEO (gal)	2.89	12.39	3.42	12.39	4.53	12.39	4.66	12.39
SOLDADURA (kg)	1.10	19.47	1.86	19.47	2.10	19.47	2.22	19.47
ACETILENO (kg)	0.20	76.70	1.14	76.70	0.50	76.70	0.50	76.70
OXÍGENO (m3)	2.00	11.21	3.74	11.21	4.99	11.21	5.04	11.21
GASOLINA (gal)	0.48	14.63	0.75	14.63	1.10	14.63	1.10	14.63
CONSUMIBLES (glb)	1.00	4.50	1.00	8.74	1.00	18.47	1.00	19.54
EQUIPOS (hm)	CANT.	PU (S/)						
PLANTILLA HINCADO	0.14	167.50	0.17	184.25	0.21	184.25	0.26	184.25
MOTOSOLDADORA	0.14	49.20	0.17	49.20	0.21	49.20	0.26	49.20
EQUIPO OXICORTE	0.14	13.92	0.17	13.92	0.21	13.92	0.26	13.92
MARTILLO HINCADO	0.14	92.77	0.17	92.77	0.21	92.77	0.26	92.77
GRUA DE 20 TON	0.14	262.40	0.17	262.40	0.21	262.40	0.26	262.40

Para la cotización de los cabezales, se debe considerar las siguientes subpartidas, cuyo metrado se ilustra en la Tabla 27.

- Excavación manual
- Solado p/zapatras e=4" mezcla, c:h = 1:12
- Concreto estructural ($f'c=280$ kg/cm²) - con bombeo
- Acero de refuerzo

Tabla 27. Metrado de cabezales (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	MALL IQUITOS			CENTRO COMERCIAL TARAPOTO				
	SIN PUNTA		PUNTA CONICA	SIN PUNTA	PUNTA PLANA		PUNTA CONICA	
ALTERNATIVA	4 Φ24", e=1/2"	3 Φ24", e=1/2"	2 Φ24", e=3/8"	2 Φ24", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"	1 Φ12", e=3/8"	1 Φ16", e=3/8"
VOLUMEN DE EXCAVACIÓN (m3)	59.098	40.062	26.630	8.877	1.000	1.960	1.000	1.960
SOLADO e=4" (m2)	19.699	13.354	8.877	8.877	1.000	1.960	1.000	1.960
VOLUMEN DE CONCRETO TOTAL (m3)	12.658	8.641	5.757	5.757	0.650	1.268	0.650	1.268
PESO TOTAL DE ACERO (kg)	107.40	80.55	53.70	53.698	8.06	13.43	8.06	13.43

El costo de cada alternativa se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 28. Costo directo de las alternativas para el proyecto Mall Iquitos (Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	MALL IQUITOS		
	SIN PUNTA		PUNTA CONICA
ALTERNATIVA	4 Φ24", e=1/2"	3 Φ24", e=1/2"	2 Φ24", e=3/8"
SUMINISTRO DE MATERIALES	S/47,918.95	S/44,924.02	S/18,586.35
PILOTAJE	S/20,855.18	S/19,551.74	S/9,269.89

DESCABEZADO DE PILOTES	S/3,582.38	S/2,686.79	S/1,561.65
CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)	S/9,778.87	S/6,703.93	S/4,463.77
COSTO DIRECTO	S/82,135.38	S/73,866.48	S/33,881.66

Tabla 29 Costo directo de las alternativas para el proyecto Centro Comercial Tarapoto
(Elaboración propia, 2020)

PROYECTO	CENTRO COMERCIAL TARAPOTO				
	SIN PUNTA	PUNTA PLANA		PUNTA CONICA	
TIPO DE PILOTE					
ALTERNATIVA	2 Φ 24", e=3/8"	1 Φ 12", e=3/8"	1 Φ 16", e=3/8"	1 Φ 12", e=3/8"	1 Φ 16", e=3/8"
SUMINISTRO DE MATERIALES	S/20,323.34	S/5,214.51	S/5,030.08	S/4,880.14	S/4,845.18
PILOTAJE	S/10,428.63	S/2,956.24	S/3,556.73	S/2,745.08	S/3,378.89
DESCABEZADO DE PILOTES	S/1,561.65	S/420.36	S/578.52	S/420.36	S/578.52
CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)	S/3,829.37	S/443.39	S/852.87	S/443.39	S/852.87
COSTO DIRECTO	S/36,142.99	S/9,034.50	S/10,018.20	S/8,488.97	S/9,655.46

Los APUS están adjuntos en los anexos (ANEXO B: APUS DE PARTIDAS, y ANEXO C: APUS DE SUBPARTIDAS), así como los presupuestos de cada alternativa (ANEXO D: PRESUPUESTOS).

CAPÍTULO VII: COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOS MODELOS DE CIMENTACIÓN

7.1. COMPARACIÓN TÉCNICA

Con respecto a los equipos requeridos para el hincado de cada alternativa, se tiene el siguiente cuadro resumen (Tabla 30):

Tabla 30 Resumen de materiales y equipos (Elaboración propia, 2021)

PROYECTO	MALL IQUITOS			CENTRO COMERCIAL TARAPOTO				
	SIN PUNTA		PUNTA CONICA	SIN PUNTA	PUNTA PLANA		PUNTA CONICA	
ALTERNATIVA	4 Φ 24", e=1/2", L=12m	3 Φ 24", e=1/2", L=15m	2 Φ 24", e=3/8", L=12m	2 Φ 24", e=3/8", L=13.5m	1 Φ 12", e=3/8", L=14m	1 Φ 16", e=3/8", L=10m	1 Φ 12", e=3/8", L=13m	1 Φ 16", e=3/8", L=9.5m
METRADO (m)	48.0	45.0	24.0	27.0	14.0	10.0	13.0	9.5
REND. (m/día)	38	38	48	48	72	60	72	60
TIEMPO HINCADO (días)	1.263	1.184	0.500	0.563	0.194	0.167	0.181	0.158
EQUIPOS (hm)								
PLANTILLA HINCADO	12.63	11.84	5.00	5.63	1.94	1.67	1.81	1.58
MOTOSOLDADORA	12.63	11.84	5.00	5.63	1.94	1.67	1.81	1.58
EQUIPO OXICORTE	12.63	11.84	5.00	5.63	1.94	1.67	1.81	1.58
MARTILLO HINCADO	12.63	11.84	5.00	5.63	1.94	1.67	1.81	1.58
GRUA DE 20 TON	12.63	11.84	5.00	5.63	1.94	1.67	1.81	1.58

Cabe mencionar que los APUS fueron realizados para jornadas de 10 horas diarias.

En el caso del Mall Iquitos, el tiempo de hincado se redujo de 12.63 horas a 5 horas (39.6%). Por otro lado, en el caso del Centro Comercial de Tarapoto, la incorporación de punta plana redujo el tiempo de 5.63 horas a 1.67 horas (29.63%), y la incorporación de punta cónica lo redujo a 1.58 horas (28.15%).

Como resumen de las implicancias técnicas del uso de cada tipo de pilote analizado, se tiene la siguiente tabla (Tabla 31):

Tabla 31 Ventajas y desventajas de pilotes huecos, con punta plana y con punta cónica
(Elaboración propia, 2021)

TIPO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SIN PUNTA	<ul style="list-style-type: none"> - Se hincan con mayor facilidad, en caso de no presentar taponamiento de punta. - El hincado no se obstruye por bolonería u otros bloques del suelo. - Fácil fabricación (tubo de acero). 	<ul style="list-style-type: none"> - Presenta casi nula capacidad de carga por punta.
PUNTA PLANA	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor capacidad de carga suministrada por la punta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de un martillo de hincado más pesado. - Requiere un costo adicional por fabricación de punta. - Posibilidad de obstrucción de hincado por bolonería u otros bloques del suelo.
PUNTA CÓNICA	<ul style="list-style-type: none"> - Durante el hincado genera mayor empuje de tierra, lo que permite un aumento de capacidad de carga por fricción (Solo en suelos friccionantes). - Empuje de obstrucciones del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de un martillo de hincado más pesado. - Requiere un costo adicional por fabricación de punta.

7.2. COMPARACIÓN ECONÓMICA

Respecto al proyecto de Mall Iquitos, resulta evidente la diferencia: emplear pilotes con punta cónica implica un costo menor al 50% del costo de pilotes sin punta. De acuerdo a las fórmulas de diseño, al tratarse de un suelo arcilloso, no presenta diferencia entre la incorporación de punta plana y punta cónica.

Por otro lado, en el suelo del Centro Comercial de Tarapoto, el uso de punta reduce el costo a un 25% aproximadamente, esto se debe a que se trata de un suelo friccionante, donde la capacidad por punta asume un alto porcentaje de la capacidad portante total (75% del total, según los cálculos). Asimismo, se puede concluir, según la Tabla 29, que es más económico la incorporación de la punta cónica que de la punta plana. Esto último, se debe al mayor empuje de tierra que genera la punta cónica durante el hincado, lo que permite un aumento de capacidad de carga por fricción.

CONCLUSIONES

Se concluye que la hipótesis es correcta: la incorporación de punta en pilotes huecos tubulares de acero optimiza los costos de proyectos de cimentaciones sobre suelos de la selva peruana.

De acuerdo al análisis de licuación, existen tanto suelos licuables como suelos no licuables en la selva peruana. Se pudo verificar que el suelo del Proyecto del Centro Comercial de Tarapoto sí presenta licuación (hasta 6.5m de profundidad) por tratarse de un suelo preponderantemente arenoso y ubicarse en una zona de sismicidad $z=3$. Por otro lado, el suelo del proyecto del Mall Iquitos resultó ser no licuable, gracias a su predominancia de finos (suelo cohesivo) y a su ubicación en una zona $z=1$.

Como resultado de los diseños, para los dos proyectos la reducción de pilotes con la incorporación de punta es significativa: supera el 50%. Ello es gracias a la capacidad de carga aportada por la punta, la cual es de mayor magnitud en suelos friccionantes (Centro Comercial de Tarapoto) que en suelos cohesivos (Mall Iquitos).

Con respecto a la evaluación técnica, se tiene lo siguiente:

- En el Mall Iquitos, las horas máquina de hincado se reducen a un 40% por la incorporación punta (independientemente del tipo de punta) y en el Centro Comercial Tarapoto se reducen a un 30% con la incorporación de punta plana y a un 28% con la de punta cónica, siendo esta última la más conveniente a usar.
- Pese al mayor área transversal, sí es viable el hincado de estos pilotes con punta, pues, de acuerdo a las fórmulas dinámicas, con tan solo el martillo D12 pueden ser instalados en su totalidad sin llegar al rechazo durante el proceso.
- Entre el uso de punta plana y punta cónica, es más favorable la segunda, pues facilita el hincado y, en el caso de suelos friccionantes, incrementa la capacidad portante por fuste del pilote.

Respecto a lo económico, se concluye lo siguiente:

- En el Mall Iquitos, la incorporación de punta implica un costo menor al 50% del costo de pilotes sin punta. Por tratarse de un suelo cohesivo, no hay diferencia entre el uso de punta plana y el de punta cónica.
- En el Centro Comercial de Tarapoto, el uso de punta reduce el costo a un 25% aproximadamente. Por cimentarse sobre un suelo friccionante, la capacidad portante total predomina en la capacidad por punta (75% del total). Asimismo, el uso de la punta cónica reduce más el costo que el uso de la punta plana, debido al mayor empuje de tierra que genera la punta cónica durante el hincado, lo que permite un aumento de capacidad de carga por fricción.

La diferencia de precios resulta exorbitante; sin embargo, no es una comparación certera, pues los pilotes huecos realmente presentan una capacidad portante más elevada a la calculada gracias al taponamiento generado durante el hincado. No obstante, como se mencionó a lo largo de los capítulos, la generación de dicho taponamiento no está completamente garantizado ni tampoco se espera a que el pilote hueco se comporte tal cual un pilote con punta.

RECOMENDACIONES

Se debería analizar no solo un punto de exploración o un solo perfil estratigráfico. Al considerar al punto más crítico, tal cual se propone en esta investigación, como el suelo predominante en toda la zona, se estaría incurriendo al sobredimensionamiento de los pilotes, ya que muchos de ellos realmente yacerían sobre suelos no tan licuables y no requerirían de una gran longitud. Evitar este sobredimensionamiento permitirá reducir los costos innecesarios en el proyecto.

Ya que se trata de una investigación enfocada en el área de construcción y geotecnia, no se dispuso a emplear cálculos estructurales, tales como el diseño estructural de los cabezales, entre otros. Estos agregados, sumados a la corroboración de cálculos con el empleo de softwares, tales como SAP 2000, hubieran enriquecido más el presente trabajo de investigación.

Se debería hacer pruebas reales de hincado de los tres tipos de pilotes analizados. Así, se podría registrar un rendimiento de hincado más real y acorde a cada tipo de pilote y, con estos datos, desarrollar un análisis comparativo más certero.

Con dichas pruebas también se podría corroborar si el martillo escogido para el hincado cuenta con suficiente energía para instalar el pilote hasta la profundidad solicitada.

Con el uso de prueba de cargas, se podría determinar la capacidad de carga real de los pilotes huecos y evaluar en qué porcentaje dicho valor está influenciado por el fenómeno de taponamiento.

Se debería evaluar el proceso de fabricación de las puntas de los pilotes, considerando por ejemplo el diseño de soldadura, para contar con una comparación técnica más completa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aoki, N. and Velloso, D. d. A. (1975). An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In Proc., 5th Pan-American Conf. of Soil Mechanics and Foundation Engineering, volume 1, pages 367–376. International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Buenos Aires.
- Chang, J. (2015). *Diseño de cimentación con pilotes sobre suelos licuables* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado el 24 de setiembre del 2019, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/4265>
- Das, B. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México: Cengage Learning.
- Fuentes, C. (2001). *Ingeniería Portuaria*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Gavidia, L. (2019). *Evaluación de capacidad de carga de pilotes mediante métodos teóricos y semiempíricos para el Desembarcadero Pesquero Artesanal de Cerro Azul, Cañete* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima. Recuperado el 17 de enero del 2020, de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3619>
- Luque, R. (2011). *Evaluación de la cimentación de pilas de un puente sobre pilotes tubulares de acero en suelos potencialmente licuables* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado el 24 de setiembre del 2019, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1196>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). E.050 Suelos y Cimentaciones. Lima, Perú: El Ministerio.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). E.030 Diseño Sismorresistente. Lima, Perú: El Ministerio.
- Naval Facilities Engineering Command (1986). Design manual 7.02: Foundations & Earth Structures.
- Nij, J. (2009). *Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala. Recuperado el 13 de enero del 2020, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3004_C.pdf
- Ninanya, K. (2018). *Evaluación de la capacidad de carga de pilotes excavados en arcillas a través de métodos estáticos y pruebas de carga* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima. Recuperado el 22 de agosto del 2019, de http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/1283/TESIS-KAREN_NINANYA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Placencia, K. (2014). *Cálculo y diseño de pilotes para el Puente Naranjal 1(PNA1) que forma parte del proyecto control de inundaciones del Rio Naranjal* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca. Recuperado el 15 de enero del 2020, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20928>
- Quinga, K. (2017). *Metodología para el cálculo de la capacidad de carga en pilotes, basado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (N.E.C.) 2015* (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. Recuperado el 15 de enero del 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12819>
- Rodríguez, M. & Torpoco, F. (2015). *Manual de construcción e instalación de pilotes según la práctica de empresas especializadas en el Perú* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado el 27 de setiembre del 2019, de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6627>
- Sánchez, B. (2018). *Capacidad de carga vertical por fuste y punta de pilotes tubulares de acero huecos* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado el 31 de agosto del 2019, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10138>
- Torres, J. (2001). *Investigación de los efectos de esbeltez en pilotes largos hincados en suelos blandos potentes con movimiento diferencial de campo libre* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado el 27 de setiembre del 2019, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1104>
- Urbina, R. (2004). *Guía para el diseño de pilotes* (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura. Recuperado el 31 de agosto del 2019, de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1370/ICI_114.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Youd, T. et al. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 127. 10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:10(817).
- Zambrano, R. (2019). *Consideraciones de diseño sismo-resistente para cimentaciones profundas en la ciudad de Guayaquil* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Recuperado el 24 de setiembre del 2019, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12615>

ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS DE LICUACIÓN

ANÁLISIS DE LICUACIÓN - MALLIQUITOS																			
MAGNITUD		30 AÑOS		SISMO MEDIANO		SISMO SEVERO		NORMA		SISMO SEVERO		MAGNITUD		SISMO SEVERO					
PROF. (m)	PROF. REAL (m)	SUCS	CF%	N	σ'_o (kg/cm ²)	PRESTION DE POROS	σ_o (kg/cm ²)	rd (kg/cm ²)	CN = $\sqrt{1/\sigma_o}$	CE,CB,CS	CR	N160	α	β	N160cs	CSR	CRR corregido	a/g	FS
1.2	1.5	CL	72	6	0.3073	0.000	0.3073	0.9904	1.460	1.00	0.75	6.57	5.000	1.2000	12.88	0.0322	0.111	0.05	3.452
2	2.3	CL	72	7	0.4713	0.000	0.4713	0.9845	1.316	1.00	0.75	6.91	5.000	1.2000	13.29	0.0640	0.09	0.10	3.587
3.2	3.5	CL	72	7	0.7171	0.000	0.7171	0.9760	1.148	1.00	0.80	6.43	5.000	1.2000	12.71	0.0634	0.08	0.10	3.456
4	4.3	CL	54	8	0.8505	0.030	0.8805	0.9705	1.073	1.00	0.85	7.30	5.000	1.2000	13.76	0.0317	0.11	0.05	3.642
5	5.3	SP	3	50	0.9534	0.130	1.0834	0.9632	1.022	1.00	0.85	43.42	0.000	1.0000	43.42	0.0356	0.56	0.05	15.696
6	6.3	SP	3	39	1.0564	0.230	1.2864	0.9551	0.975	1.00	0.95	36.12	0.000	1.0000	36.12	0.0378	0.97	0.05	25.618
7.2	7.5	CH	92	4	1.1687	0.350	1.5187	0.9432	0.929	1.00	0.95	3.53	5.000	1.2000	9.24	0.0398	0.08	0.05	2.045
8	8.3	CH	92	13	1.2331	0.430	1.6631	0.9333	0.904	1.00	0.95	11.17	5.000	1.2000	18.40	0.0409	0.16	0.05	3.987
9.2	9.5	CH	92	18	1.3298	0.550	1.8798	0.9144	0.870	1.00	0.95	14.87	5.000	1.2000	22.85	0.0420	0.21	0.05	4.988
10	10.3	OH	85	135	1.4003	0.630	2.0303	0.8987	0.846	1.00	1.00	114.22	5.000	1.2000	142.06	0.0424	1.13	0.05	26.604
11	11.3	CL	55	37	1.4947	0.730	2.2247	0.8753	0.816	1.00	1.00	40.79	5.000	1.2000	41.25	0.0423	0.64	0.05	15.053
12	12.3	CL	55	52	1.6048	0.830	2.4348	0.8479	0.784	1.00	1.00	40.79	5.000	1.2000	53.94	0.0418	0.59	0.05	14.040
13	13.3	CL	55	76	1.7149	0.930	2.6449	0.8171	0.755	1.00	1.00	57.36	5.000	1.2000	73.83	0.0410	0.61	0.05	14.916
14	14.3	CL	55	180	1.8250	1.030	2.8550	0.7843	0.727	1.00	1.00	130.91	5.000	1.2000	162.09	0.0399	1.29	0.05	32.279
15	15.3	CL	97	47	1.9351	1.130	3.0651	0.7507	0.702	1.00	1.00	32.98	5.000	1.2000	44.58	0.0386	1.61	0.05	41.731
16	16.3	CL	97	42	2.0452	1.230	3.2752	0.7179	0.678	1.00	1.00	28.47	5.000	1.2000	39.17	0.0374	0.51	0.05	13.682
17	17.3	CL	97	47	2.1552	1.330	3.4852	0.6871	0.656	1.00	1.00	30.82	5.000	1.2000	41.98	0.0361	0.71	0.05	19.070
18	18.3	CL	97	48	2.2653	1.430	3.6953	0.6589	0.635	1.00	1.00	30.47	5.000	1.2000	41.57	0.0349	0.67	0.05	19.662
19	19.3	CL	97	46	2.3754	1.530	3.9054	0.6338	0.615	1.00	1.00	28.30	5.000	1.2000	38.97	0.0339	0.50	0.05	14.839
20	20.3	CL	97	44	2.4855	1.630	4.1155	0.6117	0.597	1.00	1.00	26.26	5.000	1.2000	36.52	0.0329	0.42	0.05	12.806

ANÁLISIS DE LICUACIÓN - MALLIQUITOS																			
MAGNITUD		30 AÑOS		SISMO MEDIANO		SISMO SEVERO		NORMA		SISMO SEVERO		MAGNITUD		SISMO SEVERO					
PROF. (m)	PROF. REAL (m)	SUCS	CF%	N	σ'_o (kg/cm ²)	PRESTION DE POROS	σ_o (kg/cm ²)	rd (kg/cm ²)	CN = $\sqrt{1/\sigma_o}$	CE,CB,CS	CR	N160	α	β	N160cs	CSR	CRR corregido	a/g	FS
1.2	1.5	CL	72	6	0.3073	0.000	0.3073	0.9904	1.460	1.00	0.75	6.57	5.000	1.2000	12.88	0.0644	0.08	0.10	1.308
2	2.3	CL	72	7	0.4713	0.000	0.4713	0.9845	1.316	1.00	0.75	6.91	5.000	1.2000	13.29	0.0640	0.09	0.10	1.359
3.2	3.5	CL	72	7	0.7171	0.000	0.7171	0.9760	1.148	1.00	0.80	6.43	5.000	1.2000	12.71	0.0634	0.08	0.10	1.309
4	4.3	CL	54	8	0.8505	0.030	0.8805	0.9705	1.073	1.00	0.85	7.30	5.000	1.2000	13.76	0.0653	0.09	0.10	1.379
5	5.3	SP	3	50	0.9534	0.130	1.0834	0.9632	1.022	1.00	0.85	43.42	0.000	1.0000	43.42	0.0711	0.42	0.10	5.945
6	6.3	SP	3	39	1.0564	0.230	1.2864	0.9551	0.975	1.00	0.95	36.12	0.000	1.0000	36.12	0.0756	0.73	0.10	9.704
7.2	7.5	CH	92	4	1.1687	0.350	1.5187	0.9432	0.929	1.00	0.95	3.53	5.000	1.2000	9.24	0.0797	0.06	0.10	0.775
8	8.3	CH	92	13	1.2331	0.430	1.6631	0.9333	0.904	1.00	0.95	11.17	5.000	1.2000	18.40	0.0818	0.12	0.10	1.510
9.2	9.5	CH	92	18	1.3298	0.550	1.8798	0.9144	0.870	1.00	0.95	14.87	5.000	1.2000	22.85	0.0840	0.16	0.10	1.890
10	10.3	OH	85	135	1.4003	0.630	2.0303	0.8987	0.846	1.00	1.00	114.22	5.000	1.2000	142.06	0.0847	0.85	0.10	10.077
11	11.3	CL	55	37	1.4947	0.730	2.2247	0.8753	0.816	1.00	1.00	40.79	5.000	1.2000	41.25	0.0847	0.48	0.10	5.318
12	12.3	CL	55	52	1.6048	0.830	2.4348	0.8479	0.784	1.00	1.00	40.79	5.000	1.2000	53.94	0.0836	0.44	0.10	5.318
13	13.3	CL	55	76	1.7149	0.930	2.6449	0.8171	0.755	1.00	1.00	57.36	5.000	1.2000	73.83	0.0819	0.46	0.10	5.650
14	14.3	CL	55	180	1.8250	1.030	2.8550	0.7843	0.727	1.00	1.00	130.91	5.000	1.2000	162.09	0.0797	0.98	0.10	12.227
15	15.3	CL	97	47	1.9351	1.130	3.0651	0.7507	0.702	1.00	1.00	32.98	5.000	1.2000	44.58	0.0773	1.22	0.10	15.807
16	16.3	CL	97	42	2.0452	1.230	3.2752	0.7179	0.678	1.00	1.00	28.47	5.000	1.2000	39.17	0.0747	0.39	0.10	5.183
17	17.3	CL	97	47	2.1552	1.330	3.4852	0.6871	0.656	1.00	1.00	30.82	5.000	1.2000	41.98	0.0722	0.54	0.10	7.448
18	18.3	CL	97	48	2.2653	1.430	3.6953	0.6589	0.635	1.00	1.00	30.47	5.000	1.2000	41.57	0.0699	0.50	0.10	7.224
19	19.3	CL	97	46	2.3754	1.530	3.9054	0.6338	0.615	1.00	1.00	28.30	5.000	1.2000	38.97	0.0677	0.38	0.10	5.621
20	20.3	CL	97	44	2.4855	1.630	4.1155	0.6117	0.597	1.00	1.00	26.26	5.000	1.2000	36.52	0.0658	0.32	0.10	4.851

ANÁLISIS COMPARATIVO DE CIMENTACIONES CON PILOTES DE ACERO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN SUELOS DE LA SELVA PERUANA

ANÁLISIS DE LICUACIÓN - CENCTRO COMERCIAL TARAPOTO

30 AÑOS **SISMO MEDIANO**

MAGNITUD	6
a/g	0.175
N.F.	4.5

PROF. (m)	PROF. REAL (m)	N	σ'_o (Kg/cm ²)	PRESION DE POROS	σ_o (Kg/cm ²)	rd (Kg/cm ²)	CN = $\sqrt{1/\sigma_o}$	CE,CB,CS	CR	N160	CSR	CRR corregido	a/g	FS
5	5.45	14	0.9690	0.095	1.0640	0.9621	1.014	1.00	0.95	13.49	0.1202	0.19	0.18	1.595
6	6.45	10	1.0586	0.195	1.2536	0.9538	0.974	1.00	1.00	9.74	0.1285	0.15	0.18	1.139
7	7.45	18	1.1482	0.295	1.4432	0.9438	0.937	1.00	1.00	16.86	0.1349	0.24	0.18	1.755
8	8.45	21	1.2426	0.395	1.6376	0.9312	0.901	1.00	1.00	18.91	0.1396	0.27	0.18	1.913
9	9.45	27	1.3373	0.495	1.8323	0.9153	0.867	1.00	1.00	23.41	0.1427	0.35	0.18	2.438
10	10.45	50	1.4335	0.595	2.0285	0.8955	0.835	1.00	1.00	41.77	0.1441	0.57	0.18	3.968
11	11.45	50	1.5435	0.695	2.2385	0.8715	0.802	1.00	1.00	40.09	0.1438	0.60	0.18	4.190
12	12.45	50	1.6535	0.795	2.4485	0.8435	0.771	1.00	1.00	38.55	0.1421	0.66	0.18	4.652
13	13.45	50	1.7635	0.895	2.6585	0.8123	0.742	1.00	1.00	37.12	0.1393	0.78	0.18	5.600
14	14.45	50	1.8735	0.995	2.8685	0.7792	0.716	1.00	1.00	35.79	0.1357	1.08	0.18	7.967
15	15.45	50	1.9835	1.095	3.0785	0.7457	0.691	1.00	1.00	34.55	0.1317	2.72	0.18	20.642

NORMA **SISMO SEVERO**

MAGNITUD	7.5
a/g	0.35
N.F.	4.5

PROF. (m)	PROF. REAL (m)	N	σ'_o (Kg/cm ²)	PRESION DE POROS	σ_o (Kg/cm ²)	rd (Kg/cm ²)	CN = $\sqrt{1/\sigma_o}$	CE,CB,CS	CR	N160	CSR	CRR corregido	a/g	FS
5	5.45	14	0.9690	0.0950	1.0640	0.9621	1.014	1.00	0.95	13.49	0.2403	0.15	0.35	0.604
6	6.45	10	1.0586	0.1950	1.2536	0.9538	0.974	1.00	1.00	9.74	0.2570	0.11	0.35	0.431
7	7.45	18	1.1482	0.2950	1.4432	0.9438	0.937	1.00	1.00	16.86	0.2699	0.18	0.35	0.665
8	8.45	21	1.2426	0.3950	1.6376	0.9312	0.901	1.00	1.00	18.91	0.2792	0.20	0.35	0.725
9	9.45	27	1.3373	0.4950	1.8323	0.9153	0.867	1.00	1.00	23.41	0.2853	0.26	0.35	0.924
10	10.45	50	1.4335	0.5950	2.0285	0.8955	0.835	1.00	1.00	41.77	0.2883	0.43	0.35	1.503
11	11.45	50	1.5435	0.6950	2.2385	0.8715	0.802	1.00	1.00	40.09	0.2875	0.46	0.35	1.587
12	12.45	50	1.6535	0.7950	2.4485	0.8435	0.771	1.00	1.00	38.55	0.2841	0.50	0.35	1.762
13	13.45	50	1.7635	0.8950	2.6585	0.8123	0.742	1.00	1.00	37.12	0.2786	0.59	0.35	2.121
14	14.45	50	1.8735	0.9950	2.8685	0.7792	0.716	1.00	1.00	35.79	0.2714	0.82	0.35	3.018
15	15.45	50	1.9835	1.0950	3.0785	0.7457	0.691	1.00	1.00	34.55	0.2633	2.06	0.35	7.819

ANEXO B: APUS DE PARTIDAS

Partida	SUMINISTRO DE MATERIALES						
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	Costo unitario directo por:		5.34	
				kg			
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Subcontrato						
	SUMINISTRO DE TUBO DE ACERO		kg		1.0000	5.34	5.34
							5.34

Partida	HINCADO DE PILOTES Ø 12" E=3/8"						
Rendimiento	ml/DIA	MO	72.0000	EQ.	72.0000	Costo unitario directo por: m	211.16
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0139	29.43	0.41
	OPERADOR MANIPBRISTA		hh	3.0000	0.4167	26.16	10.90
	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA		hh	1.0000	0.1389	26.16	3.63
	RIGGER		hh	1.0000	0.1389	26.16	3.63
	OPERARIO GRUESO		hh	1.0000	0.1389	26.16	3.63
							22.20
	Materiales						
	PETROLEO		gal		2.8900	12.39	35.81
	SOLDADURA		kg		1.1000	19.47	21.42
	ACETILENO		kg		0.2000	76.70	15.34
	OXÍGENO		m3		2.0000	11.21	22.42
	GASOLINA		gal		0.4800	14.63	7.02
	CONSUMIBLES		glb		1.0000	4.50	4.50
							106.51
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	22.20	1.11
	PLANTILLA Y/O CASTILLO DE HINCADO		hm	1.0000	0.1389	167.50	23.26
	MOTOSOLDADORA		hm	1.0000	0.1389	49.20	6.83
	EQUIPO DE OXICORTE		hm	1.0000	0.1389	13.92	1.93
	MARTILLO DE HINCADO		hm	1.0000	0.1389	92.77	12.88
	GRUA DE 20 TON		hm	1.0000	0.1389	262.40	36.44
							82.45

Partida	HINCADO DE PILOTES Ø 16" E=3/8"						
Rendimiento	ml/DIA	MO	60.0000	EQ.	60.0000	Costo unitario directo por: m	355.67
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0167	29.43	0.49
	OPERADOR MANIPBRISTA		hh	3.0000	0.5000	26.16	13.08

	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	hh	1.0000	0.1667	26.16	4.36
	RIGGER	hh	1.0000	0.1667	26.16	4.36
	OPERARIO GRUESO	hh	1.0000	0.1667	26.16	4.36
						26.65
	Materiales					
	PETROLEO	gal		3.4200	12.39	42.37
	SOLDADURA	kg		1.8600	19.47	36.21
	ACETILENO	kg		1.1350	76.70	87.05
	OXÍGENO	m3		3.7400	11.21	41.93
	GASOLINA	gal		0.7500	14.63	10.97
	CONSUMIBLES	glb		1.0000	8.74	8.74
						227.27
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	26.65	1.33
	PLANTILLA Y/O CASTILLO DE HINCADO	hm	1.0000	0.1667	184.25	30.71
	MOTOSOLDADORA	hm	1.0000	0.1667	49.20	8.20
	EQUIPO DE OXICORTE	hm	1.0000	0.1667	13.92	2.32
	MARTILLO DE HINCADO	hm	1.0000	0.1667	92.77	15.46
	GRUA DE 20 TON	hm	1.0000	0.1667	262.40	43.73
						101.75
Partida	HINCADO DE PILOTES Ø 24" E=3/8"					
Rendimiento	ml/DIA	MO	48.0000	EQ.	48.0000	Costo unitario directo por: m 386.25
o					0	
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0208	29.43	0.61
	OPERADOR MANIOBRISTA	hh	3.0000	0.6250	26.16	16.35
	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	hh	1.0000	0.2083	26.16	5.45
	RIGGER	hh	1.0000	0.2083	26.16	5.45
	OPERARIO GRUERO	hh	1.0000	0.2083	26.16	5.45
						33.31
	Materiales					
	PETROLEO	gal		4.5300	12.39	56.13
	SOLDADURA	kg		2.1000	19.47	40.89
	ACETILENO	kg		0.4987	76.70	38.25
	OXÍGENO	m3		4.9870	11.21	55.90
	GASOLINA	gal		1.1000	14.63	16.09
	CONSUMIBLES	glb		1.0000	18.47	18.47
						225.73
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	33.31	1.67
	PLANTILLA Y/O CASTILLO DE HINCADO	hm	1.0000	0.2083	184.25	38.39
	MOTOSOLDADORA	hm	1.0000	0.2083	49.20	10.25
	EQUIPO DE OXICORTE	hm	1.0000	0.2083	13.92	2.90
	MARTILLO DE HINCADO	hm	1.0000	0.2083	92.77	19.33
	GRUA DE 20 TON	hm	1.0000	0.2083	262.40	54.67
						127.21

Partida	HINCADO DE PILOTES Φ 24" E=1/2"						
Rendimiento	ml/DIA	MO	38.0000	EQ.	38.0000	Costo unitario directo por: m	434.48
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0263	29.43	0.77	
	OPERADOR MANIOBRISTA	hh	3.0000	0.7895	26.16	20.65	
	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	hh	1.0000	0.2632	26.16	6.88	
	RIGGER	hh	1.0000	0.2632	26.16	6.88	
	OPERARIO GRUERO	hh	1.0000	0.2632	26.16	6.88	
							42.06
Materiales							
	PETROLEO	gal		4.6600	12.39	57.74	
	SOLDADURA	kg		2.2200	19.47	43.22	
	ACETILENO	kg		0.5041	76.70	38.66	
	OXÍGENO	m3		5.0410	11.21	56.51	
	GASOLINA	gal		1.1000	14.63	16.09	
	CONSUMIBLES	glb		1.0000	19.54	19.54	
							231.76
Equipos							
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	42.06	2.10	
	PLANTILLA Y/O CASTILLO DE HINCADO	hm	1.0000	0.2632	184.25	48.49	
	MOTOSOLDADORA	hm	1.0000	0.2632	49.20	12.95	
	EQUIPO DE OXICORTE	hm	1.0000	0.2632	13.92	3.66	
	MARTILLO DE HINCADO	hm	1.0000	0.2632	92.77	24.41	
	GRUA DE 20 TON	hm	1.0000	0.2632	262.40	69.05	
							160.66

Partida	DESCABEZADO DE PILOTES Φ 12" E=3/8"						
Rendimiento	und/DIA	MO	4.0000	EQ.	4.0000	Costo unitario directo por: und	420.36
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.2500	29.43	7.36	
	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	hh	2.0000	5.0000	26.16	130.80	
							138.16
Materiales							
	ACETILENO	kg		1.0630	76.70	81.53	
	OXÍGENO	m3		10.6300	11.21	119.16	
	CONSUMIBLES	glb		1.0000	5.00	5.00	
							205.69
Equipos							
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	138.16	6.91	
	EQUIPO DE OXICORTE	hm	2.0000	5.0000	13.92	69.60	
							76.51

Partida	DESCABEZADO DE PILOTES Φ 16" E=3/8"						
Rendimiento	und/DIA	MO	2.5000	EQ.	2.5000	Costo unitario directo por: und	578.52
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.4000	29.43	11.77	
	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	hh	2.0000	8.0000	26.16	209.28	
							221.05
Materiales							
	ACETILENO	kg		1.2000	76.70	92.04	
	OXÍGENO	m3		12.0000	11.21	134.52	
	CONSUMIBLES	glb		1.0000	8.50	8.50	
							235.06
Equipos							
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	221.05	11.05	
	EQUIPO DE OXICORTE	hm	2.0000	8.0000	13.92	111.36	
							122.41

Partida	DESCABEZADO DE PILOTES Φ 24" E=3/8"						
Rendimiento	und/DIA	MO	2.0000	EQ.	2.0000	Costo unitario directo por: und	780.83
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.5000	29.43	14.72	
	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	hh	2.0000	10.0000	26.16	261.60	
							276.32
Materiales							
	ACETILENO	kg		1.8000	76.70	138.06	
	OXÍGENO	m3		18.0000	11.21	201.78	
	CONSUMIBLES	glb		1.0000	11.65	11.65	
							351.49
Equipos							
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	276.32	13.82	
	EQUIPO DE OXICORTE	hm	2.0000	10.0000	13.92	139.20	
							153.02

Partida	DESCABEZADO DE PILOTES Φ 24" E=1/2"						
Rendimiento	und/DIA	MO	2.0000	EQ.	2.0000	Costo unitario directo por: und	895.60
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.5000	29.43	14.72	
	OPERARIO SOLDADOR-OXIGENISTA	hh	2.0000	10.0000	26.16	261.60	
							276.32
Materiales							
	ACETILENO	kg		2.4000	76.70	184.08	

OXÍGENO	m3	24.0000	11.21	269.04
CONSUMIBLES	glb	1.0000	13.14	13.14
				466.26
Equipos				
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo	5.0000	276.32	13.82
EQUIPO DE OXICORTE	hm	2.0000	10.0000	139.20
				153.02

Partida	Cabezal para 4 pilotes Ø24" e=1/2"					
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	Costo unitario directo por:		
				kg	9778.87	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Subpartidas						
	EXCAVACION MANUAL	m3		59.0982	35.73	2111.79
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12	m2		19.6994	33.01	650.24
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F' C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO	m3		12.6583	505.68	6401.03
	ACERO DE REFUERZO	kg		107.3967	5.73	615.81
						9778.87

Partida	Cabezal para 3 pilotes Ø24" e=1/2"					
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	Costo unitario directo por:		
				kg	6703.93	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Subpartidas						
	EXCAVACION MANUAL	m3		40.0617	35.73	1431.55
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12	m2		13.3539	33.01	440.79
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F' C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO	m3		8.6414	505.68	4369.74
	ACERO DE REFUERZO	kg		80.5475	5.73	461.85
						6703.93

Partida	Cabezal para 2 pilotes Ø24" e=3/8"					
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	Costo unitario directo por:		
				kg	4463.77	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Subpartidas						
	EXCAVACION MANUAL	m3		26.6304	35.73	951.60
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12	m2		8.8768	33.01	293.01
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F' C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO	m3		5.7571	505.68	2911.26
	ACERO DE REFUERZO	kg		53.6983	5.73	307.90
						4463.77

Partida	Cabezal para 2 pilotes Ø24" e=3/8"				Costo unitario directo por:		
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	kg	3829.37		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Subpartidas							
	EXCAVACION MANUAL	m3		8.8768	35.73	317.20	
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12	m2		8.8768	33.01	293.01	
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F' C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO	m3		5.7571	505.68	2911.26	
	ACERO DE REFUERZO	kg		53.6983	5.73	307.90	
						3829.37	

Partida	Cabezal para 1 pilotes Ø12" e=3/8"				Costo unitario directo por:		
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	kg	443.39		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Subpartidas							
	EXCAVACION MANUAL	m3		1.0000	35.73	35.73	
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12	m2		1.0000	33.01	33.01	
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F' C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO	m3		0.6495	505.68	328.46	
	ACERO DE REFUERZO	kg		8.0547	5.73	46.19	
						443.39	

Partida	Cabezal para 1 pilotes Ø16" e=3/8"				Costo unitario directo por:		
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	kg	852.87		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Subpartidas							
	EXCAVACION MANUAL	m3		1.9600	35.73	70.04	
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12	m2		1.9600	33.01	64.70	
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F' C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO	m3		1.2679	505.68	641.15	
	ACERO DE REFUERZO	kg		13.4246	5.73	76.98	
						852.87	

Partida	Cabezal para 1 pilotes Ø12" e=3/8"				Costo unitario directo por:		
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.	kg	443.39		
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Subpartidas							
	EXCAVACION MANUAL	m3		1.0000	35.73	35.73	
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12	m2		1.0000	33.01	33.01	
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F' C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO	m3		0.6495	505.68	328.46	
	ACERO DE REFUERZO	kg		8.0547	5.73	46.19	
						443.39	

Partida	Cabezal para 1 pilotes Ø16" e=3/8"				Costo unitario directo por:	852.87	
Rendimiento	kg/DIA	MO	EQ.		kg		
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Subpartidas						
	EXCAVACION MANUAL		m3		1.9600	35.73	70.04
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12		m2		1.9600	33.01	64.70
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F´C=280 KG/CM2) - CON BOMBEO		m3		1.2679	505.68	641.15
	ACERO DE REFUERZO		kg		13.4246	5.73	76.98
							852.87

ANEXO C: APUS DE SUBPARTIDAS

Partida	EXCAVACION MANUAL						
Rendimiento	m3/DIA	MO.	4.5000	EQ.	4.5000	Costo unitario directo por: m3	35.73
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.1778	29.43	5.23	
	PEON	hh	1.0000	1.7778	16.20	28.80	
							34.03
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	34.03	1.70	
							1.70
	SOLADO P/ZAPATAS e=4" MEZCLA, C:H = 1:12						
Partida	m2/DIA	MO.	75.0000	EQ.	75.0000	Costo unitario directo por: m2	33.01
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0107	29.43	0.31	
	OPERARIO	hh	2.0000	0.2133	26.16	5.58	
	PEON	hh	5.0000	0.5333	16.20	8.64	
							14.53
	Materiales						
	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	bls		0.4000	24.50	9.80	
	HORMIGON (PUESTO EN OBRA)	m3		0.1680	38.00	6.38	
	AGUA	m3		0.0267	5.00	0.13	
							16.32
	Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	14.53	0.73	
	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 18 HP	hm	1.0000	0.1067	11.09	1.18	
	VIBRADOR DE 4 HP CAP.=1.25"	hm	0.5000	0.0533	4.62	0.25	
							2.16
	CONCRETO ESTRUCTURAL (F'c=280 KG/CM2) - CON BOMBEO						
Partida	m3/DIA	MO.	18.0000	EQ.	18.0000	Costo unitario directo por: m3	505.68
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	Mano de Obra						
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.4444	29.43	13.08	
	OPERARIO	hh	3.0000	1.3333	26.16	34.88	

OFICIAL	hh	3.0000	1.3333	17.82	23.76
PEON	hh	6.0000	2.6667	16.20	43.20
					114.92
Materiales					
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	bls		11.0000	24.50	269.50
ADITIVO CURADOR	gal		0.1900	21.87	4.16
ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE	kg		0.2200	6.96	1.53
COMBUSTIBLE	gal		0.2800	9.42	2.64
LUBRICANTES, GRASAS Y FILTROS	%eq		5.0000	6.98	0.35
					278.17
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	114.92	5.75
MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 18 HP	hm	1.0000	0.4444	11.09	4.93
VIBRADOR DE 4 HP CAP.=1.25"	hm	1.0000	0.4444	4.62	2.05
					12.73
Subpartidas					
AGUA PARA LA OBRA	m3		0.2000	26.44	5.29
TRANSPORTE DE AGREGADOS	m3		1.2500	31.89	39.86
PIEDRA CHANCADA	m3		0.7500	49.34	37.00
ARENA ZARANDEADA	m3		0.5000	35.41	17.71
					99.86

Partida	ACERO DE REFUERZO					
Rendimiento	kg/DIA	MO.	250.0000	EQ 250.0000	Costo unitario directo	
to				.	por: kg	5.73

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0032	29.43	0.09
	OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	26.16	0.84
	OFICIAL	hh	1.0000	0.0320	17.82	0.57
	PEON	hh	1.0000	0.0320	16.20	0.52
						2.02
Materiales						
	ALAMBRE NEGRO NACIONAL # 16	kg		0.0500	3.80	0.19
	FIERRO DE CONSTRUCCION	kg		1.0500	3.26	3.42
						3.61
Equipos						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	2.02	0.10
						0.10

ANEXO D: PRESUPUESTOS

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES HUECOS (ALTERNATIVA 1) – MALL IQUITOS

PROYECTO: MALL AVENTURA IQUITOS

UBICACIÓN: IQUITOS - LORETO

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				82 135.38
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				47 918.95
01.01.01	Suministro de tubos	kg	8 973.59	5.34	47 918.95
01.02	PILOTAJE				20 855.18
01.02.01	Hincado de 4 pilotes Ø24" e=1/2" L=12m	ml	48.00	434.48	20 855.18
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				3 582.38
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø24" e=1/2"	und	4.00	895.60	3 582.38
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				9 778.87
01.04.01	Cabezal para 4 pilotes Ø24" e=1/2"	und	1.00	9 778.87	9 778.87
COSTO DIRECTO				S/.	82 135.38
SON: OCHENTA Y DOS MIL, CIENTO TREINTA Y CINCO Y 38/100 NUEVOS SOLES					

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES HUECOS (ALTERNATIVA 2) – MALL IQUITOS

PROYECTO: MALL AVENTURA IQUITOS

UBICACIÓN: IQUITOS - LORETO

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				73 866.48
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				44 924.02
01.01.01	Suministro de tubos	kg	8 412.74	5.34	44 924.02
01.02	PILOTAJE				19 551.74
01.02.01	Hincado de 3 pilotes Ø24" e=1/2" L=15m	ml	45.00	434.48	19 551.74
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				2 686.79
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø24" e=1/2"	und	3.00	895.60	2 686.79
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				6 703.93
01.04.01	Cabezal para 3 pilotes Ø24" e=1/2"	und	1.00	6 703.93	6 703.93
COSTO DIRECTO				S/.	73 866.48
SON: SETENTA Y TRES MIL, OCHOCIENTOS SESENTA Y SEIS Y 48/100 NUEVOS SOLES					

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES CON PUNTA CÓNICA – MALL IQUITOS

PROYECTO: MALL AVENTURA IQUITOS

UBICACIÓN: IQUITOS - LORETO

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				33 881.66
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				18 586.35
01.01.01	Suministro de tubos	kg	3 480.59	5.34	18 586.35
01.02	PILOTAJE				9 269.89
01.02.01	Hincado de 2 pilotes Ø24" e=3/8" L=12m	ml	24.00	386.25	9 269.89
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				1 561.65
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø24" e=3/8"	und	2.00	780.83	1 561.65
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				4 463.77
01.04.01	Cabezal para 2 pilotes Ø24" e=3/8"	und	1.00	4 463.77	4 463.77
COSTO DIRECTO					S/ 33 881.66
SON: TREINTA Y TRES MIL, OCHOCIENTOS OCHENTA Y UNO Y 66/100 NUEVOS SOLES					

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES HUECOS – CENTRO COMERCIAL TARAPOTO

PROYECTO: LOCAL COMERCIAL - TARAPOTO, SAN MARTÍN

UBICACIÓN: TARAPOTO - SAN MARTIN

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				36 142.99
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				20 323.34
01.01.01	Suministro de tubos	kg	3 805.87	5.34	20 323.34
01.02	PILOTAJE				10 428.63
01.02.01	Hincado de 2 pilotes Ø24" e=3/8" L=13.5m	ml	27.00	386.25	10 428.63
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				1 561.65
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø24" e=3/8"	und	2.00	780.83	1 561.65
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				3 829.37
01.04.01	Cabezal para 2 pilotes Ø24" e=3/8"	und	1.00	3 829.37	3 829.37
COSTO DIRECTO				S/.	36 142.99
SON: TREINTA Y SEIS MIL, CIENTO CUARENTA Y DOS Y 99/100 NUEVOS SOLES					

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES CON PUNTA PLANA (ALTERNATIVA 1) – CENTRO COMERCIAL TARAPOTO

PROYECTO: LOCAL COMERCIAL - TARAPOTO, SAN MARTÍN

UBICACIÓN: TARAPOTO - SAN MARTIN

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				9 034.50
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				5 214.51
01.01.01	Suministro de tubos	kg	976.50	5.34	5 214.51
01.02	PILOTAJE				2 956.24
01.02.01	Hincado de 1 pilotes Ø12" e=3/8" L=14m	ml	14.00	211.16	2 956.24
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				420.36
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø12" e=3/8"	und	1.00	420.36	420.36
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				443.39
01.04.01	Cabezal para 1 pilotes Ø12" e=3/8"	und	1.00	443.39	443.39
COSTO DIRECTO				S/.	9 034.50
SON: NUEVE MIL, TREINTA Y CUATRO Y 50/100 NUEVOS SOLES					

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES CON PUNTA PLANA (ALTERNATIVA 2) – CENTRO COMERCIAL TARAPOTO

PROYECTO: LOCAL COMERCIAL - TARAPOTO, SAN MARTÍN

UBICACIÓN: TARAPOTO - SAN MARTIN

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				10 018.20
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				5 030.08
01.01.01	Suministro de tubos	kg	941.96	5.34	5 030.08
01.02	PILOTAJE				3 556.73
01.02.01	Hincado de 1 pilotes Ø16" e=3/8" L=10m	ml	10.00	355.67	3 556.73
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				578.52
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø16" e=3/8"	und	1.00	578.52	578.52
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				852.87
01.04.01	Cabezal para 1 pilotes Ø16" e=3/8"	und	1.00	852.87	852.87
COSTO DIRECTO				S/.	10 018.20
SON: DIEZ MIL, DIECIOCHO Y 20/100 NUEVOS SOLES					

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES CON PUNTA CÓNICA (ALTERNATIVA 1) – CENTRO COMERCIAL TARAPOTO

PROYECTO: LOCAL COMERCIAL - TARAPOTO, SAN MARTÍN

UBICACIÓN: TARAPOTO - SAN MARTIN

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				8 488.97
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				4 880.14
01.01.01	Suministro de tubos	kg	913.88	5.34	4 880.14
01.02	PILOTAJE				2 745.08
01.02.01	Hincado de 1 pilotes Ø12" e=3/8" L=13m	ml	13.00	211.16	2 745.08
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				420.36
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø12" e=3/8"	und	1.00	420.36	420.36
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				443.39
01.04.01	Cabezal para 1 pilotes Ø12" e=3/8"	und	1.00	443.39	443.39
COSTO DIRECTO				S/.	8 488.97
SON: OCHO MIL, CUATROCIENTOS OCHENTA Y OCHO Y 97/100 NUEVOS SOLES					

PRESUPUESTO DETALLADO

PILOTES CON PUNTA CÓNICA (ALTERNATIVA 2) – CENTRO COMERCIAL TARAPOTO

PROYECTO: LOCAL COMERCIAL - TARAPOTO, SAN MARTÍN

UBICACIÓN: TARAPOTO - SAN MARTIN

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario S/.	Parcial S/.
01	EJECUCION DE TRABAJOS				9 655.46
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES				4 845.18
01.01.01	Suministro de tubos	kg	907.34	5.34	4 845.18
01.02	PILOTAJE				3 378.89
01.02.01	Hincado de 1 pilotes Ø16" e=3/8" L=9.5m	ml	9.50	355.67	3 378.89
01.03	DESCABEZADO DE PILOTES				578.52
01.03.01	Descabezado de pilotes Ø16" e=3/8"	und	1.00	578.52	578.52
01.04	CABEZAL DE PILOTES (ZAPATA)				852.87
01.04.01	Cabezal para 1 pilotes Ø16" e=3/8"	und	1.00	852.87	852.87
COSTO DIRECTO				S/.	9 655.46
SON: NUEVE MIL, SEISCIENTOS CINCUENTA Y CINCO Y 46/100 NUEVOS SOLES					