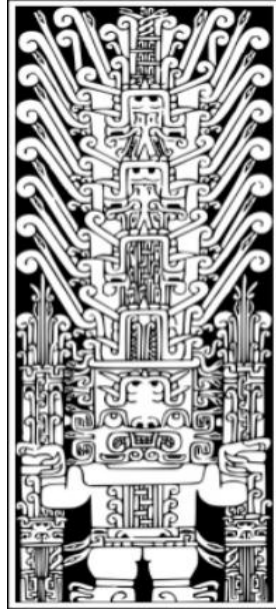


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL**

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**



**TESIS**

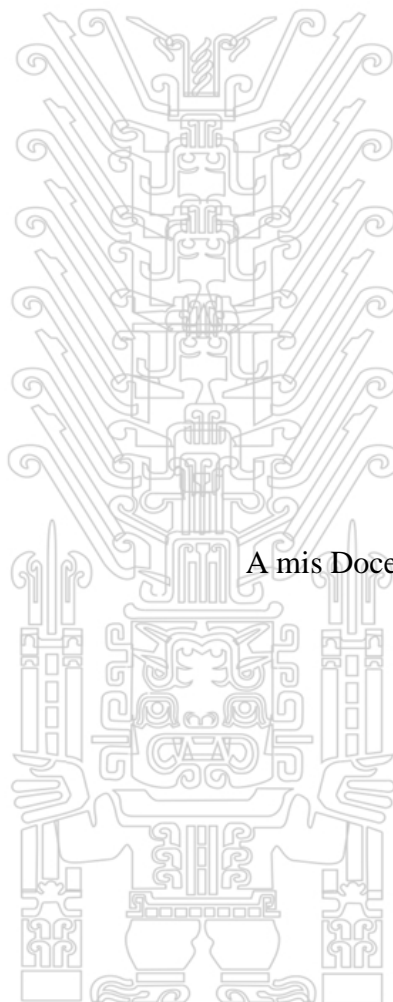
**“TECNOLOGÍA PARA CIMENTACIONES POR PILOTAJE EN PROYECTOS DE  
INGENIERÍA CIVIL”**

**PRESENTADO POR:**

**LUIS ALFONSO JUAN BARRANTES MANN**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:  
MAESTRO EN GERENCIA DE PROYECTOS DE INGENIERÍA**

**LIMA – PERÚ  
2017**



## **DEDICATORIA**

A mis Docentes de Postgrado de la UNFV

## RESUMEN

Para el desarrollo de la presente Tesis, se efectuó una investigación de carácter descriptiva, explicativa, retrospectiva y correlacional, con el propósito de presentar una propuesta tecnológica para identificar cimentaciones realizadas con pilotaje a fin de disminuir las posibilidades de colapso de las edificaciones, ya sean para uso de vivienda (sobre todo multifamiliar, como el caso de Lima y de las principales capitales de nuestro país) o de servicios (fabricas, torres de comunicaciones, muelles, centros comerciales, centros educativos en general, centros de entretenimiento y otros que por su uso desarrollan cargas importantes), por fallas en la cimentación; para ello, se muestrearon procesos y sus resultados de cada tipo de pilotaje en diferentes tipos de suelos, ya sea por tipo de material del pilote o por procedimiento de colocación dentro del terreno de intervención para dar paso a nueva infraestructura.

El trabajo comienza con plantear la problemática de interacción terreno con el uso del suelo existente en nuestro país, frente a la creciente demanda de infraestructura, tanto para vivienda como para servicios, en la industria de la construcción, la cual por sus propios procesos sigue siendo en gran parte artesanal, tendiendo cada vez más a utilizar procesos de carácter industrial, como el uso de prefabricados y encofrados industriales de gran alcance; haciendo mención por supuesto de la normatividad nacional vigente para el caso de cimentaciones.

Se establece el problema materia de la investigación (su descripción y formulación), el objetivo (general y específico) y la hipótesis, terminando con detallar la metodología empleada para el desarrollo de este trabajo y de su justificación e importancia.

A continuación, se desarrolla de manera objetiva la existente tecnología para cimentaciones por pilotaje en el ámbito de la construcción, con el propósito de recalcar la teoría y práctica de su utilización para dar confiabilidad en dar paso a nuevas e importantes construcciones que

de inversiones público como privadas, lo que hace necesario dar una base científica al presente trabajo.

También se trata lo señalado en la normatividad vigente, sobre todo en lo mencionado en nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), referente a las cimentaciones profundas, en donde se detalla lo normativamente permisible y que ha servido como referencia para ejecutar los procesos para efectuar cimentaciones por pilotaje en la construcción de edificaciones para viviendas y de servicios.

Posteriormente, se realiza un análisis e interpretación de los resultados empleando cuadros comparativos de la utilización de los diferentes tipos de cimentación por pilotaje, tanto por material del pilote como por procedimiento de colocación en el suelo determinado para la ejecución de la edificación.

Como resultado final, se presentan las conclusiones y recomendaciones para la mejor decisión en cuanto a la utilización de uno u otro procedimiento de los diferentes tipos de cimentación por pilotaje, que lleven al proyectista estadísticos para el procesamiento de la información y finalmente se muestran las conclusiones del trabajo de investigación y las recomendaciones que a criterio del autor ha podido establecer.

Los resultados más destacados, infieren que, con la utilización de la tecnología por pilotaje, los terrenos cuyos suelos no se habían considerado para construir infraestructura importante, hoy son también útiles para dar paso a edificaciones de vivienda o de servicio necesarios para una sociedad cada vez más demandante de seguridad.

**PALABRA CLAVE: CIMENTACIÓN POR PILOTAJE**

## ABSTRACT

In order to develop this thesis, a descriptive, explanatory, retrospective and correlation research was conducted, for the purpose of introducing a technological proposal to identify foundations made out of pilotage, in order to reduce the possibilities of buildings collapse, both at the housing (primarily multifamily) and at the services level (shopping centers, schools, entertainment centers and other which, because of their use, develop relevant loads), due to failures in foundations; for such a purpose, processes and results of each type of piloting in different types of soils were sampled, both by type of material of the pile or by placement procedure within the field of intervention where way for new infrastructure is made.

The document begins by raising the challenges arising from the interaction between land and land use in our country, in the context of a growing demand for infrastructure, both for housing (especially multifamily housing, such as Lima and the main cities of our country) as for services (theatres, auditoriums, etc.), in the construction industry, which, due to its own processes, remains largely artisan, tending more and more towards industrial processes, such as the use of prefabricated and industrial formwork; addressing of course national regulations in the case of foundations.

Sets the addressed problem (its description and formulation), objectives (general and specific) and the hypothesis, and ends by detailing the methodology used for the development of this work and its justification and importance.

Then the existing technology for foundations is addressed objectively by piloting in the field of construction, with the purpose of stressing theory and practice of its use for reliability in giving way to new and important buildings that our society demands by the growth of investments sustained over time, both investment public and private which makes it necessary to give a scientific basis to the present work. This is also stated in current regulations, mostly

mentioned in our national regulation of buildings, concerning the deep foundations, where what is normatively permissible is detailed and which has served as a reference for running processes to make foundations for piloting in the construction of buildings for housing and services.

Subsequently, performs an analysis and interpretation of results using comparative tables of the use of different types of foundations by piloting, both by material of pile and by placement procedure in the ground set for the execution of the building.

As a result, conclusions and recommendations are presented for the best decision in terms of the use of one or other procedure of the different types of foundation by piloting, which lead to the statistical processing of information, and finally the conclusions of the research and recommendations established at the discretion of the author.

The most highlighting results, infer that with the use of the technology by piloting, land which had not been considered for important infrastructure, today is also useful for housing or services buildings, much needed for a society which is increasingly demanding more safety.

TAGS:        **FOUNDATION BY PILOTING**



## ÍNDICE

<u>Descripción</u>	<u>N° de Página</u>
CARATULA	01
DEDICATORIA	02
RESUMEN	03 - 04
ABSTRACT	05 - 06
ÍNDICE	07 - 09
INTRODUCCIÓN	10 - 14
<b>I. <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u></b>	<b>15 - 21</b>
1.1 Antecedentes	15 - 18
1.2 Problema	18 - 21
1.2.1 Descripción del Problema	18 - 19
1.2.2 Formulación del Problema	19 - 21
a. Problema Principal	20
b. Problemas Secundarios	21
1.3 Justificación e Importancia	21 - 23
1.4 Objetivos de la Investigación	23

1.4.2	Objetivos Específicos	23
<b>1.5</b>	<b>Limitaciones</b>	<b>24</b>
<b>II.</b>	<b><u>MARCO TEÓRICO</u></b>	<b>25 - 77</b>
<b>2.1</b>	<b>Marco Conceptual</b>	<b>25 - 65</b>
2.1.1	Generalidades	25 - 35
2.1.2	Tipos de Cimentación	35 - 41
2.1.3	Pilotes	42 - 65
<b>2.2</b>	<b>Estado del Arte</b>	<b>66 - 76</b>
2.2.1	Pilotes	66 - 76
a.	Estudio del terreno e Informe geotécnico	67 - 71
b.	Selección del tipo de pilote	71
c.	Determinación de la dimensión del pilote	71 - 74
d.	Instrucciones para la ejecución	74 - 76
<b>2.3</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>77</b>
2.3.1	Hipótesis General	77
2.3.2	Hipótesis Secundarias	77
2.3.3	Variables	77
<b>III.</b>	<b><u>MARCO METODOLÓGICO</u></b>	<b>78 - 82</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipo de investigación</b>	<b>78 - 80</b>

3.3	<b>Nivel de investigación</b>	<b>80</b>
3.4	<b>Población y muestra</b>	<b>80 - 81</b>
3.5	<b>Técnicas e Instrumentos de la investigación</b>	<b>82</b>
3.6	<b>Validación y Confiabilidad del instrumento</b>	<b>82</b>
<b>IV.</b>	<b><u>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</u></b>	<b>83 - 225</b>
4.1	<b>Análisis</b>	<b>83</b>
4.1.1	Pilote de concreto armado, prefabricado e hincado	84 - 113
4.1.2	Pilote de concreto armado, excavado y vaciado “in situ”	114 - 158
4.1.3	Pilote de madera, tratado e hincado	159 - 184
4.1.4	Pilote de metálico, pintado e hincado	185 - 205
4.1.5	Pilote de concreto armado, prefabricado e hincado	206 - 225
<b>V.</b>	<b><u>DISCUSIÓN</u></b>	<b>226 - 228</b>
5.1	<b>Pilotes de concreto armado, prefabricado e hincado</b>	<b>226</b>
5.2	<b>Pilotes hincados y vaciados in situ</b>	<b>227</b>
5.3	<b>Pilotes perforados y vaciados in situ</b>	<b>228</b>
<b>VI.</b>	<b><u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b>	<b>229 - 230</b>
6.1	<b>Conclusiones</b>	<b>229</b>
6.2	<b>Recomendaciones</b>	<b>230</b>
<b>VII.</b>	<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b>231</b>
<b><u>ANEXOS:</u></b>		<b>232 - 242</b>
1.	<b>Matriz de Consistencia</b>	<b>233</b>
Tesis publicada con autorización del autor		
2.	<b>Validación y Confiabilidad</b>	<b>234 - 235</b>

### INTRODUCCIÓN

La construcción en nuestro país, a diferencia de otros más desarrollados, todavía podemos considerarla que posee una gran participación artesanal, con tendencia seria para afirmar que, en un tiempo cercano, primara la industria de la construcción.

Este concepto tiene como base y fundamento, que la creciente mejora económica en nuestro país, hace que nuestra sociedad sea demandante de mejor calidad tanto del producto final como del proceso mismo para lograrlo, su disponibilidad de uso en el menor tiempo y costos menores por producción industrial masiva, lo que denomino el triángulo de la construcción “mayor calidad + menor tiempo + menor precio”; indudablemente que lo señalado vendrá paulatinamente conforme vaya creciendo la industrialización de la construcción.

Tenemos a la fecha varios factores que apuntan a validar lo afirmado, dentro de los materiales fundamentales de nuestra construcción formal, la cual, antes de ejecutarse pasa por controles y aprobaciones de acuerdo a normativas cada vez más exigentes, como es el caso del concreto, en los últimos años hemos vistos un gran desarrollo en poner plantas concreteras modernas, competitivas entre ellas, lo cual, le da al usuario, la posibilidad de seleccionar entre costo, tiempo y calidad; sin embargo, se aprecia todavía que estamos en una etapa primaria en franco progreso, debido a que proporcionan el ya bastante conocido “concreto premezclado” de alta calidad y con una gran posibilidad de diversas especificaciones (por la incorporación de variados aditivos) y mejores resistencias, para que en obra le demos las distintas formas que nuestros proyectos de ingeniería demanden. Pero se puede afirmar, que no existen variadas plantas de concreto de productos finales de uso constante, como secciones de alcantarillas, buzones completos, losas y muros para techos, en fin, productos que la sociedad

Del mismo modo, podemos afirmar que nuestras acerías, se encuentran en una etapa primaria, validado con los productos que ofrecen, barras o varillas de construcción, perfiles estructurales y planchas metálicas, en fin, productos para que, en base a ellos, podamos hacer en obra o taller productos industriales finales. Es pertinente mencionar, que nuestras acerías no producen productos finales, tales como válvulas, tuberías sin costura, accesorios y otros. Si es cierto que la tendencia en general es hacia la industrialización, hoy en día las acerías ya ofrecen la posibilidad de entregar el “acero dimensionado” por ejemplo, lo cual reduce plazos de ejecución de obra, a ser entregado cortado y doblado, optimizando su aprovechamiento contrastando nuestros planos estructurales con las barras o varillas en bruto.

Con respecto a los encofrados, si hemos avanzado, al encontrar en el mercado diversas formas metálicas que con un fácil y rápido armado, sirven para obtener las estructuras verticales (columnas, placas, columnetas y otros), las estructuras horizontales (vigas, losas, techos y otros) y algunas otras de diseño especial (arcos, bóvedas, entre otras).

Nuestra mejora económica a nivel país, la mayor demanda de nuestra población debido a la mejora en su capacidad de gasto, contrastado con el real déficit de infraestructura tanto de vivienda como de servicios, han puesto en manifiesto la falta de terrenos urbanos con propósito de expansión a nuestra actual ciudad de Lima y de las otras capitales de nuestro país, en las cuales el desarrollo fue y es mayoritariamente, de expansión horizontal y también poniendo de manifiesto la existencia de terrenos no usados por alguna razón en especial.

En los últimos años, en nuestra capital se está desarrollando rápidamente un crecimiento sostenido de infraestructura para vivienda de forma vertical, grandes multifamiliares que sean dado paso sobre todo en antiguas viviendas unifamiliares ubicadas en grandes avenidas. Pero no todo ha sido un éxito, se han presentado en algunos casos, fallas en edificios que han originado la imposibilidad de habitarlos, lo cual origina problemas sociales y legales.

La falta de uso de ciertos terrenos por alguna razón, sobre todo técnicas, hasta ahora han

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

imposibilitado su uso; ahora con la demanda creciente se hace imperioso contar con cada metro cuadrado de nuestra ciudad, para satisfacer el déficit habitacional existente.

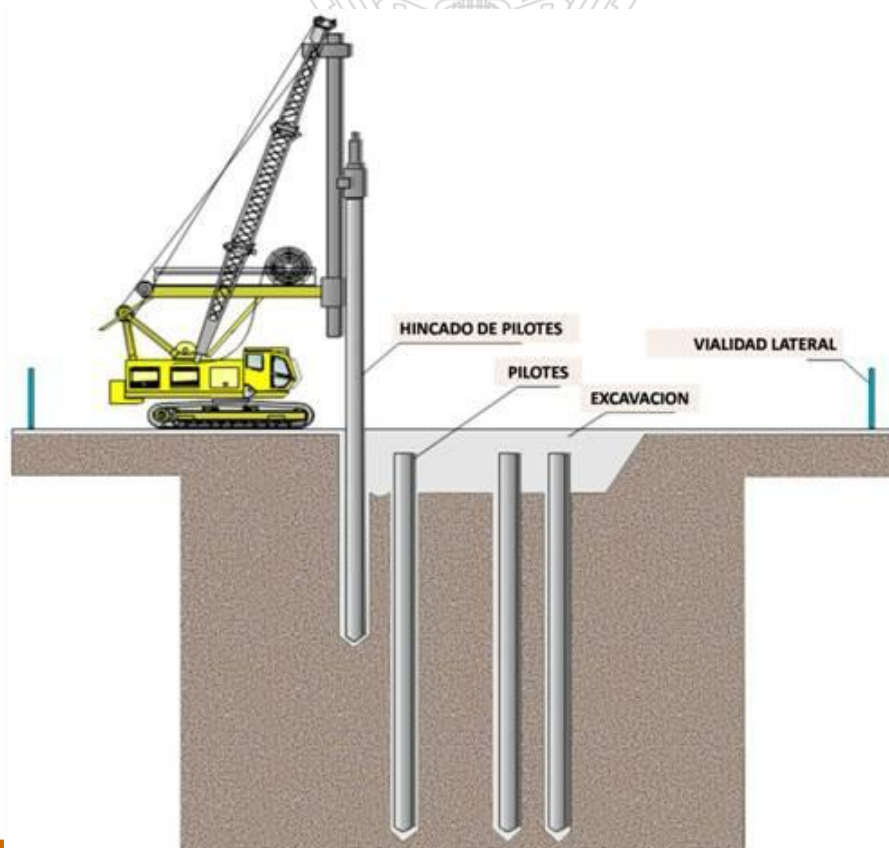
La interacción suelo-estructura, tiene necesariamente que tener la suficiente capacidad admisible para que uno soporte a la otra y de este modo, demos paso a una solución tecnológica de aprovechamiento para solucionar cargas importantes sobre el suelo existente.

Las cimentaciones profundas, como pilotaje, jet grouting, congelamiento del suelo, muros pantalla entre otros, tienen la finalidad de resolver los problemas de cargas sobre el suelo con un factor de seguridad bastante elevado que asegure una vivienda estable y sostenida en tiempo.

Nuestro país está ubicado en una verdadera zona sísmica, sometido constantemente a movimientos telúricos, algunos de ellos con categoría de catástrofe, algunos expertos recomiendan permanentemente establecer una cultura de prevención ante cualquier eventualidad, es por esta razón, que se realizan simulacros masivos y obligatorios, a fin de proporcionar a nuestra sociedad de una herramienta más para salvaguardar la vida. De las ocurrencias pasadas, se ha aprendido que existen suelos no convenientes para edificación, sin embargo, la falta de ellos obliga en cierta manera a utilizarlos; una manera eficaz de hacerlo, sin lugar a dudas es la utilización de cimentaciones seguras que garanticen la estabilidad ante la ocurrencia de cualquier eventualidad sísmica, y esto conlleva a la utilización de cimentaciones profundas para lograr cimentar en estratos seguros que garanticen una respuesta de carga admisible capaz de soportar esfuerzos más allá de la carga misma que las edificaciones proporcionan. Es pertinente mencionar que la existencia de suelos licuefactables, que reaccionan frente a los movimientos telúricos, también deben ser consideradas y tener una solución para evitar cualquier asentamiento en infraestructura tanto de vivienda como de servicios que imposibiliten su uso. El uso adecuado constante de

cualquier infraestructura soportada con cimentaciones profundas. Dentro de algunos años, se establecerán plantas de producción de productos terminados también para pilotaje, como pilotes prefabricados.

En general, la cimentación profunda por pilotes, se puede ejecutar por hincado o vaciado en situ. Para pilotes hincados se requieren pilotes prefabricados, ya sean de concreto, acero (tubería o solidos) o de madera (debidamente tratada), los cuales son introducidos en el suelo mediante hincado directa realizada por martinete o martillo, que mediante golpes logra llegar a un estrato duro o que por fricción obtenga la suficiente resistencia que permita soportar las cargas para asegurar la estabilidad de la edificación por construir. El más utilizado, es el pilote concreto armado, que tiene acero longitudinal y transversal, este último es colocado de forma zunchada, cuadrada o circular, colocado de manera continua de extremo a extremo, para respuesta de los esfuerzos de corte que se presentan por efecto de los movimientos telúricos.



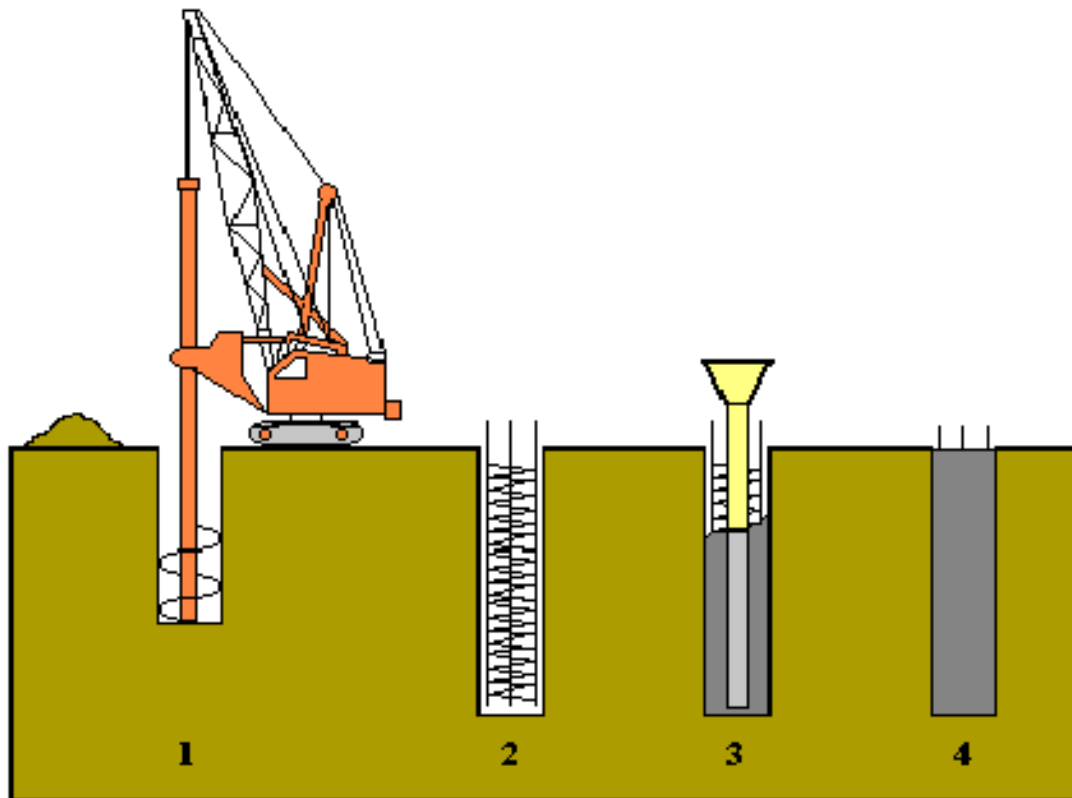
#### PILOTES PREFABRICADOS HINCADOS

Tesis publicada con autorización del autor

No puede citar esta tesis

UNFV

previa hasta llegar al estrato definido en el EMS (estudio de mecánica de suelos); estos requieren de perforación previa para la colocación de la armadura y posterior vaciado de concreto. A continuación, presentamos una acción esquemática de ambos pilotes, tanto los hincados como los excavados y vaciados in situ, según los siguientes croquis:



#### PILOTES EXCAVADOS Y VACIADOS IN SITU

- 1.- Excavación mediante hélice corta o larga
- 2.- Colocación de armadura de acero
- 3.- Vaciado de concreto mediante tubo tremí
- 4.- Pilote terminado con el hierro listo para empalme

Los resultados que proporcionare respecto a la utilización de pilotaje de varias clasificaciones en diferentes estratos, validaran que ante las cargas y esfuerzos que las edificaciones

proporcionan a los suelos que ocupan, podemos garantizar con verdadera certeza que la

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

estabilidad por cargas y esfuerzos logran mantener la estabilidad de las mismas, en los diferentes tipos de suelos que existen.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Antecedentes.**

La necesidad del ser humano de apoyar sus edificaciones sobre suelo firme es tan antigua como su existencia, la supervivencia tanto de fenómenos naturales (crecidas de ríos, lluvias intensas y otros) como de inseguridad frente a ser animales más fuertes (cualquier especie menor o mayor, pero feroz como ella sola), hicieron que sus moradas estén levantadas sobre el suelo, a una distancia tal que permita cierta seguridad al poblador.

En nuestro país la utilización de la tecnología para cimentaciones profundas con el empleo de pilotes (ya sea de concreto, acero o madera) ha estado orientado a grandes proyectos que por su geoestratégica ubicación han demandado uso de suelos no apropiados (ubicados en agua – río o mar- o en suelos con baja capacidad portante), que requerían cimentaciones profundas. Estos proyectos de trascendencia nacional como el oleoducto nor-peruano (quizá la obra más importante realizada en nuestro país, tanto por su alto costo por la complejidad de atravesar las tres regiones de nuestro país: costa, sierra y selva y por último terminar en el mar de Bayovar, Piura), congregaron la atención de ingeniería foránea, la cual utilizó necesariamente pilotes para llevar a cabo infraestructura productiva necesaria para el desarrollo nacional.

La cimentación de grandes tanques de almacenamiento tanto de agua, petróleo u otros líquidos, la construcción de puentes, muelles, edificaciones de gran altura y otros, han requerido necesariamente la utilización de tecnología para cimentaciones profundas por pilotaje. Es notorio que esta utilización se ha centrado solamente en grandes proyectos con inversiones cuantiosas y en gran parte desarrolladas por proyectistas y constructores foráneos, los cuales han llegado a nuestro país por la necesidad de ejecutar tal o cual proyecto de necesidad pública o privada. Esta llegada a nuestro país ha producido que la maquinaria que actualmente se encuentra en nuestro territorio fue traída para la ejecución de estos proyectos y se ha quedado ya en nuestro país en manos de poquísimos constructores que, por la poca difusión de esta tecnología, cara aún, tienen poca demanda. Esta poca difusión y demanda, trae como consecuencia, que su conocimiento pleno está en manos de un limitado grupo de profesionales los cuales cuentan con poca o desactualizada información teórica para el desarrollo de los proyectos, ya que se centran en la utilización de maquinaria muchas veces obsoleta en el tiempo. Esta maquinaria ingresada a nuestro país se quedó por múltiples razones, una de ellas el alto costo de retornarlas a su país de origen, debido a que los proyectos donde demandaron su presencia se encuentran en zonas de difícil acceso tal como la selva de nuestro país, que tuvo su apogeo de desarrollo ingenieril en la época de los años 70, donde el petróleo fue la fuente de riqueza e ingresos económicos en nuestro país.

Posteriormente a década de los años 70, nuestro país paso por una época de pocas inversiones públicas y privadas en infraestructura trascendental, esta carencia de proyectos y de ejecución de obras, trajo el poco desarrollo en tecnologías que en otros paises más desarrollados con vorágine de inversiones en infraestructura desarrollaban a paso agigantado. La paralización de importación que por décadas tuvimos en nuestro país, por políticas de gobierno, trajo consigo que nuestra maquinaria en general, se volviera obsoleta con bajísimos estándares de rendimientos y productividad, frente a otros países con enormes capacidades de fabricación,

los cuales producían maquinaria moderna, según las grandes demandas de los proyectos que llevaban a cabo, estas con capacidades y rendimientos mayores.

Es verdad que nuestra capital posee un suelo con alta capacidad portante, donde se puede construir edificaciones tanto de vivienda como de servicios sin utilizar tecnología para cimentaciones profundas, sin embargo, en el resto del país si es necesario su empleo, si queremos potenciar y desarrollar a las regiones, debido a que los suelos no poseen las características apropiadas para apoyar grandes estructuras edificatorias. Hasta ahora hemos utilizado esta tecnología para grandes proyectos de infraestructura, sin embargo, la permanente demanda de la población por su crecimiento poblacional y económico, ya requieren desarrollar proyectos en otros suelos que no poseen las características geotécnicas para cimentar en superficie, requiriendo buscar mejores estratos a profundidades mayores.

En la actualidad, se tiene en ejecución la continuación del tren eléctrico, obra que solucionara gran parte del problema del transporte en nuestra ciudad de Lima; la cual, la ejecutan empresas principalmente españolas, las que poseen una amplia experiencia en cimentaciones profundas, tanto en España (por el tosco de Madrid) como fuera de su país. Por el momento, dicho proyecto está casi detenido por problemas de expropiación de terrenos privados y por desacuerdos con especificaciones técnicas de su oferta versus lo exigido por nuestro gobierno. Para este proyecto han traído equipo de tecnología no conocido en nuestro país, tales como piloteadoras y pantalladoras nuevas para nuestro mercado de maquinaria pesada. Esta necesidad de utilizar esta tecnología de cimentaciones profundas radica en que parte de la línea del tren será mediante túnel y pasara por suelos con alto nivel freático y algunos suelos blandos, además de la consideración de que las estaciones serán subterráneas.

Existen varias razones valederas a resistirse a utilizar esta tecnología, tanto económicas como operativas; debido a que para ejecutar cimentaciones por pilotaje, se requiere maquinaria muy especial (martinete) cuya su existencia es muy limitada en nuestro país, encareciendo el

proyecto que lo requiere; por otra parte, la metodología de cálculo para diseñar cimentaciones con pilotes, está como hemos dicho, limitada a un pequeño grupo de profesionales involucrados ya sea por docencia universitaria en el tema específico u/o por realizar este tipo limitado de trabajos. Por otro lado, está la carente industria de la construcción, la cual, todavía no produce formas de concreto tipo pilotes, para su rápida e inmediata utilización, razón por la cual, se hace necesario la fabricación propia para cada proyecto y esto toma mucho tiempo, debido a que, para utilizar productos de concretos hechos en obra, hay que esperar el tiempo de fraguado equivalente en algunos casos a 28 días. La suma de estas razones, generan vacilaciones en la utilización de esta tecnología de cimentaciones desarrollada en la presente tesis.

Nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) trata muy superficialmente la teoría que permite desarrollar un proyecto de cimentaciones por pilotaje, así mismo, teorías de cálculo estructural normadas, analizan muy superficialmente el tema, es por esas múltiples razones detalladas, esta investigación pretende proporcionar un valioso aporte tanto desde el punto de vista geotécnico, como de diseño estructural y de procedimiento constructivo, que ayude a la utilización de esta tecnología de cimentaciones especiales por pilotaje.

## **1.2 Problema**

### **1.2.1 Descripción del Problema**

Hasta la década pasada donde primo la poca inversión en grandes proyectos de infraestructura, tuvo como consecuencia la no existencia por la demanda de este servicio; el conocimiento y la practica en esta tecnología han quedado en el tiempo obsoletos, con la carencia de profesionales con estudios modernos sobre la materia y además desfasado en el

empleo de maquinaria moderna, que por su alto costo no ha permitido su renovación en nuestro país.

Esto representa que gran parte de los consultores y constructores nacionales no estén actualizados con el diseño y construcción de las cimentaciones especiales, mucho menos con los aspectos geotécnicos y estructurales que deben tenerse en cuenta al momento de diseñar con mayores seguridades. Lo que suelen hacer es utilizar técnicas obsoletas y sumamente peligrosas por su proceso constructivo complejo, las cuales en algunas obras acarrearán accidentes en su ejecución. En otros casos, utilizan cálculos similares, que se repiten en varios proyectos, sin tratar una por una las posibilidades de soluciones de cimentaciones especiales que hoy existen y que permiten lograr un verdadero óptimo diseño.

### **1.2.2 Formulación del Problema**

Los problemas técnicos entre suelo y estructura están directamente vinculados al tipo de suelo que se va a intervenir, por lo que, a lo largo del desarrollo de la tesis, presentare la alternativa de utilizar esta tecnología con sus respectivo diseño, proceso constructivo y validación, que permita asegurar la cimentación de estructuras importantes. Esta tesis tiene como misión presentar solución a determinados problemas de cimentación para que puedan ser aplicados en distintos suelos de nuestro país. Se ha contemplado desarrollar distintos tipos de pilotes, según los materiales estructurales que conocemos, tanto el concreto como el acero y también la madera, en diferentes tipos de estratos como propuesta de mejoramiento del suelo para que la estructura tenga un mejor comportamiento ante los tipos de eventos sísmicos que recurrentemente se presentan. Es pertinente mencionar que en el interior del país se cuentan con suelos de poca capacidad portante que impiden el desarrollo edificatorio, obligando a un

crecimiento horizontal que podría ser vertical y así aprovechar el mejor uso del suelo con las acertadas técnicas de cimentación.

En nuestro país, actualmente se están desarrollando proyectos de infraestructura únicos en la historia de la ingeniería nacional; algunos de ellos más complejos que otros, los cuales ameritan cimentaciones especiales para asegurar su estabilidad, tal como la ampliación de la línea del tren eléctrico, cuyo recorrido abarca suelos con niveles freáticos altos y suelos baldos, adicionalmente tendrá estaciones de subida y bajada subterráneas, y es ahí donde se requiere utilizar técnicas modernas por las grandes cargas o por ubicaciones complicadas para ejecutarlos sobre todo por el suelo o el alto nivel freático donde se encuentran; teniendo la necesidad de aplicar técnicas modernas para dar solución efectiva a distintos casos de interacción suelo – estructura con un grado de certeza validada por resultados comprobables. Son varios y variados los problemas que se presentan en el campo del comportamiento del suelo para cimentar proyectos de estructuras importantes. Es por ello, que esta tesis planteara diferentes tipos de cimentación por pilotaje, utilizando los distintos materiales estructurales empleados para pilotes (concreto, acero y madera), para el desarrollo de estos proyectos; lamentablemente, están siendo ejecutados por consultores y constructores foráneos, con maquinaria moderna trasladada puntualmente para estos proyectos, sin motivar ni incentivar la transferencia tecnológica que su ejecución podría lograr. Esta tesis realizada con cierto nivel de profundidad y sobre todo énfasis en el diseño y construcción de cimentaciones por pilotaje, tiene por finalidad motivar a desarrollar los debidos conocimientos y prácticas en esta tecnología, la cual, sin lugar a dudas, ser muy demanda en los próximos proyectos de ingeniería que desarrollemos en nuestro país de manera constante, por la permanente inversión en infraestructura que venimos realizando.

Según lo detallado en líneas anteriores, paso a plantear el problema principal y los problemas específicos, de acuerdo con lo siguiente:

**a. Problema Principal**

¿Cuál sería la propuesta tecnológica que dé solución conveniente a las cimentaciones por pilotaje en el mejoramiento de suelos que permitan su uso eficiente y eficaz en edificaciones, tanto de vivienda como de servicios?

**b. Problemas Secundarios**

b.1 ¿Cuáles son los factores para desarrollar un análisis que defina el impacto del uso de pilotes en las cimentaciones de proyectos de ingeniería?

b.2 ¿Cuáles son las tecnologías adecuadas para el diseño de pilotes que se utilicen para cimentar en suelos que permitan su aplicación?

b.3 ¿Cuál deberá ser el tipo de validación técnica que se debe dar de las diferentes tecnologías de pilotes para un adecuado uso?

**1.3 Justificación e Importancia**

**1.3.1 Justificación**

Las cimentaciones profundas por pilotaje solo se plantean cuando no es posible una solución de cimentación del superficial, debido a suelos con estratos existentes de baja capacidad

portante, otros, por ser suelos licuefactables, otros por tener niveles freáticos altos u otras razones que limitan su uso. La utilización de la tecnología desarrollada, con un grado de seguridad alta, disminuye considerablemente la posibilidad de asentamientos que puedan deformar la estructura. De este modo se garantiza la importante inversión en edificaciones de gran altura y de magnas cargas.

La justificación radica en la propuesta que consiste en mejorar las soluciones de los problemas planteados, entre ellos el uso del suelo para edificaciones de vivienda y de servicios. Con el uso de tecnología de cimentación por pilotaje se permitirá realizar edificaciones de gran altura con las considerables cargas que estas ocasionan, las cuales tendrán la estabilidad necesaria al contar con cimentaciones óptimas. Además, se suelen dar comúnmente pérdidas económicas considerables por falla del suelo y por ende la pérdida de estabilidad de la edificación, todo ello a causa de una mala decisión de cimentación, para lo cual ya existen métodos probados y buenas prácticas, las cuales deben ser aplicadas según el tipo de suelo y estructura a edificar.

En cimentaciones profundas por pilotaje, en la mayoría de los casos no se dispone de conocimientos adecuados para su tratamiento, ya sea esta, por la elección del tipo de pilote por tipo de suelo. La decisión muchas veces depende de contar primero con la maquinaria que puede ser para hincar pilotes o excavar para vaciar pilotes in situ. Existen diversos factores a considerar, tales como las cargas, los niveles freáticos, la licuefacción de suelos y otros que influyen y en algunos casos determinan el tipo de pilote a colocar. En ese sentido, es imprescindible realizar estudios geotécnicos (utilizando ensayos de reconocimiento in situ con el apoyo del laboratorio geotécnico) para definir la cimentación más adecuada en función del tipo de suelo y su comportamiento, así como, llevar a cabo controles periódicos de calidad para asegurar la correcta implementación del diseño del pilote elegido durante la ejecución en

### **1.3.2 Importancia**

La importancia de la tesis radica en que la utilización de la tecnología de cimentaciones por pilotaje para edificaciones va estrechamente ligada al crecimiento edificatorio vertical, limitando ya el uso del suelo para viviendas con desarrollo horizontal. Con las inversiones públicas y privadas sostenidas en el tiempo, Lima y las principales capitales de las regiones que conforman nuestro país, desarrollaran un vertiginoso crecimiento vertical, con lo cual se requiere tener a la mano la tecnología apropiada para cimentar grandes estructuras edificatorias que aseguren en primer término al habitante y por supuesto a la inversión lograda para ese fin. Los mega proyectos que utilizan puntualmente cimentaciones profundas, limitan la transferencia tecnológica, debido a que magnifican la ganancia económica foránea antes que la preparación de profesionales nacionales en esas técnicas modernas que la ingeniería extranjera viene a desarrollar. Sin limitar las inversiones extranjeras, ni menos la participación de empresas foráneas, la reglamentación nacional debería contemplar la asociación obligada con empresas nacionales, con el fin de efectuar la transferencia tecnológica a nuestros profesionales.

### **1.4 Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar y poner a disposición una propuesta tecnológica para cimentaciones por pilotaje para disminuir los daños en las edificaciones, tanto de vivienda como de servicios, debido a fallas por asentamientos en la cimentación.

## 1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Analizar los factores que impactan en las cimentaciones de las edificaciones en nuestro país y su relación con el uso de pilotes.
- b. Desarrollar los diseños y procesos de diferentes tipos de pilotes de acuerdo con los materiales estructurales existentes para variadas condiciones de suelos y edificaciones.
- c. Validación de los pilotes propuestos para una adecuada utilización en edificaciones

## 1.5 Limitaciones

Para el desarrollo de la presente investigación se presentaron las siguientes limitantes:

- 1.5.1 La actual escasez y/o paralización de proyectos de ingeniería de gran envergadura, limita la ejecución de obras con cimentaciones profundas donde se utilizan pilotes.
- 1.5.2 Las obras que se ejecutan con cimentaciones profundas, usando tecnología de punta, tanto en profesionales como en maquinaria, las realizan principalmente empresas foráneas, las cuales limitan el acceso para tomar conocimiento directo de su proceso constructivo.

falta de la reglamentación nacional que obligue a las empresas foráneas a asociarse con empresas nacionales para ejecutar las obras con tecnología de punta.

**1.5.4** Los profesionales nacionales, expertos en cimentaciones profundas son escasos y por ende difícil de llegar a ellos para capacitación adecuada a otros profesionales nacionales.

**1.5.5** Ingenieros nacionales que quieran participar en la ejecución de obras en otras urbes más desarrolladas en cuanto a infraestructura, ven con dificultad su participación por las limitantes en su colegiación profesional.

## **CAPÍTULO II**

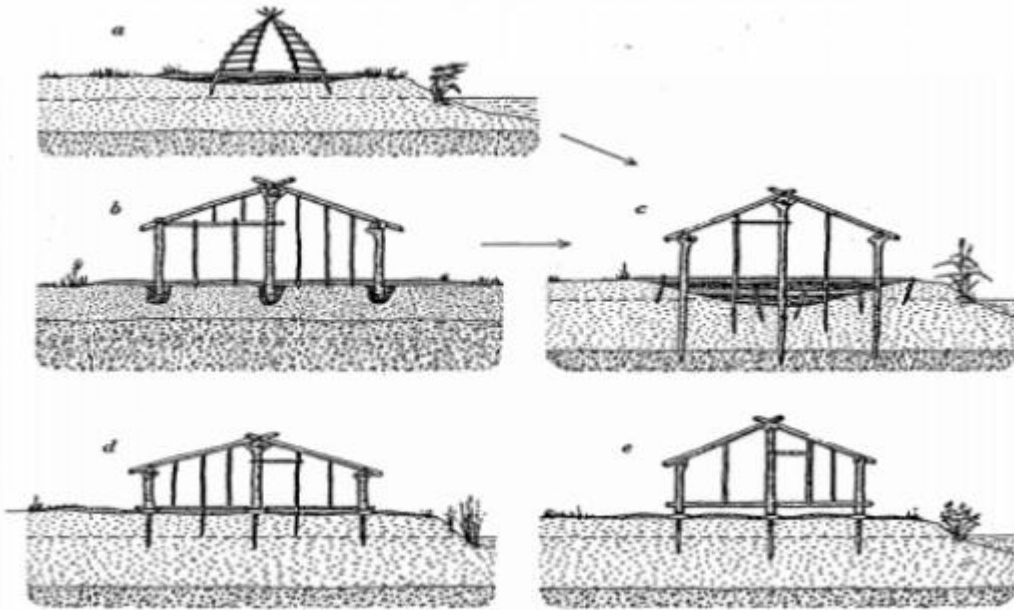
### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Marco conceptual**

##### **2.1.1 Generalidades**

La utilización del palo de madera para apoyar construcciones de diferentes usos fue muy utilizada desde la aparición del hombre, tanto para su protección de fenómenos meteorológicos por épocas destructivo o por la inseguridad generada por la presencia de animales que, por su tamaño, ferocidad, aversión, tenían que permanecer alejados de ellos. Las diversas investigaciones realizadas, demuestran la utilización de palos de madera para mejorar el suelo y utilizar las riveras de los ríos. Es así, que de estudios realizados en lugares

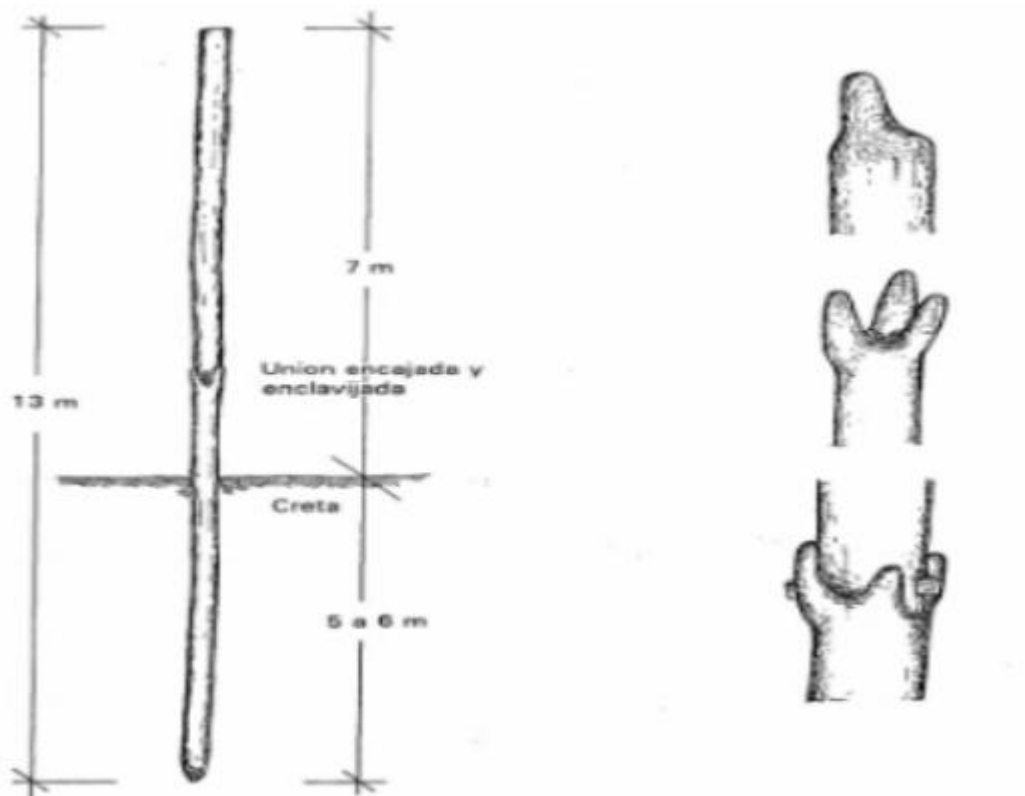
donde existieron viviendas en suelos blandos y en zonas ribereñas que datan de tiempos antes de Cristo.



**PRESUNTA EVOLUCIÓN DE LAS VIVIENDAS**  
Eugeniusz Frankowski, 1918, España, Hórreos y palafitos de la Península Ibérica

En base a investigaciones, excavaciones y estudios concienzudos, se ha podido hacer interpretaciones de como colocaron sus precarias viviendas sobre palos, tal como se muestra en la figura anterior. Los croquis presentados representan de la presunta evolución de las construcciones sobre pilotes en Suiza, según lo siguiente:

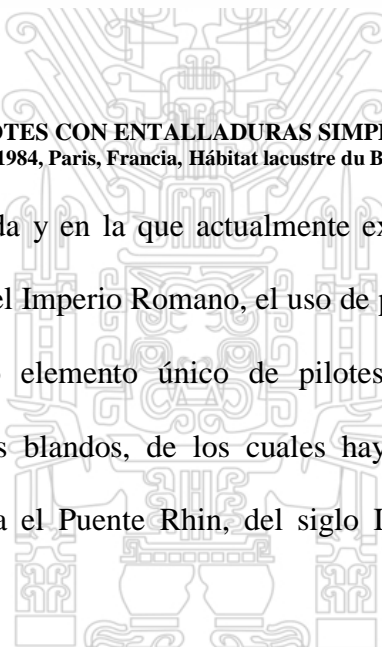
- a. Carpas ribereñas, hacia el 5000 a.C.
- b. Primeras cabañas rectangulares, hacia el 4000 a.C.
- c. Viviendas con mayor estabilidad, hacia el 3000 a.C.
- d. Viviendas con entarimados para mayor rigidez, hacia el 2000 a.C.
- e. Viviendas elevadas para mejor aislamiento, hacia el 1000 a.C.

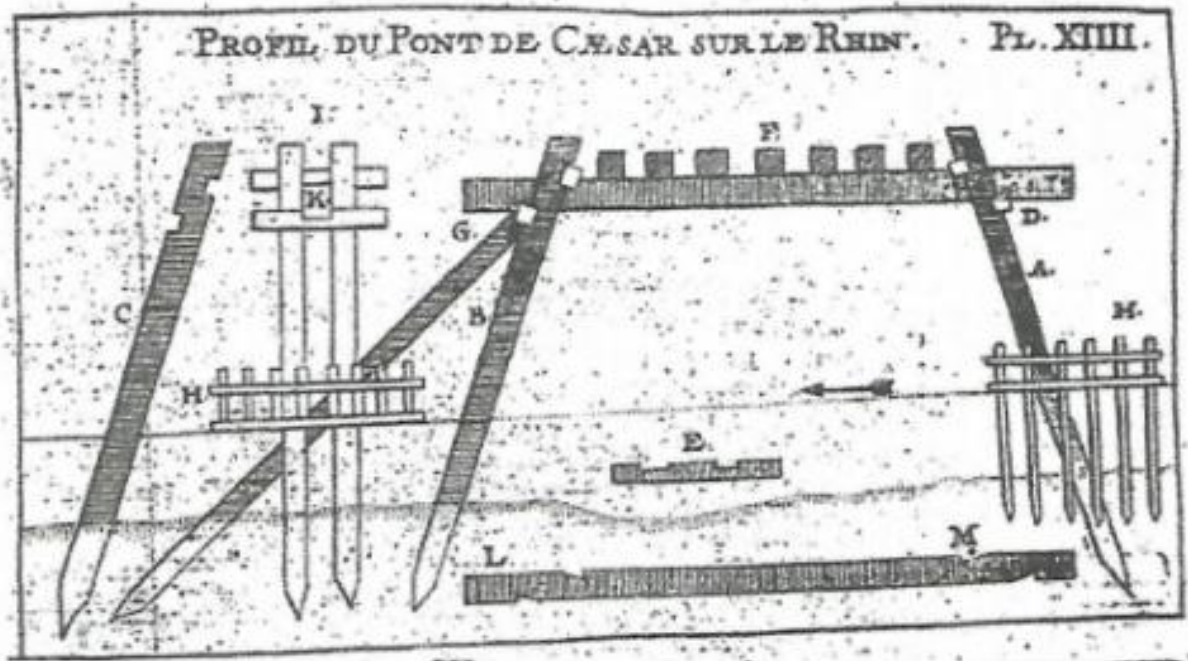


#### PILOTES CON ENTALLADURAS SIMPLE

PETREQUIN A.M. et PETREQUIN P., 1984, Paris, Francia, *Hábitat lacustre du Bénin, une approche etho-archéologique*

Ya para la época más investigada y en la que actualmente existen mayores vestigios de su existencia, encontramos que, en el Imperio Romano, el uso de pilotes como cimentaciones era usual, utilizando madera como elemento único de pilotes, lograban cimentar puentes, acueductos y otros sobre suelos blandos, de los cuales hay suficiente descripción de su utilización, tal como lo presenta el Puente Rhin, del siglo I antes de Cristo, tal como se muestra en la figura:

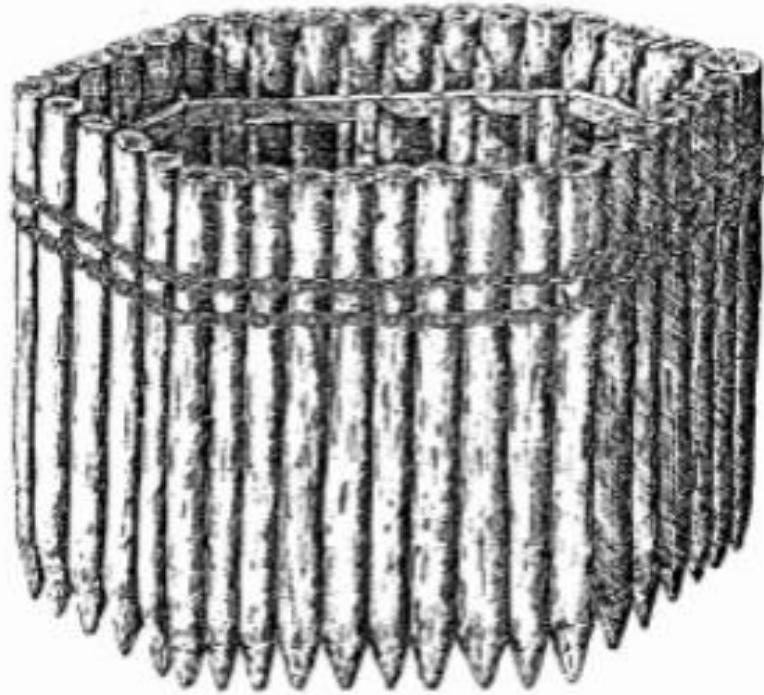




**PUENTE RHIN, DEL SIGLO I a. C.**  
**GAUTIER H., 1728, París, Francia, Traite de la Construction des Ponts**

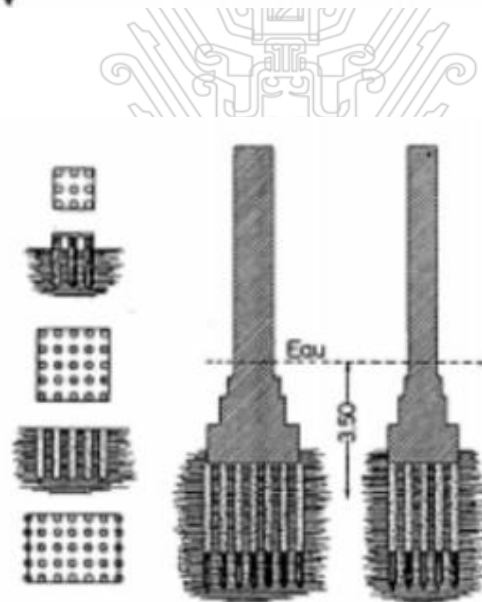
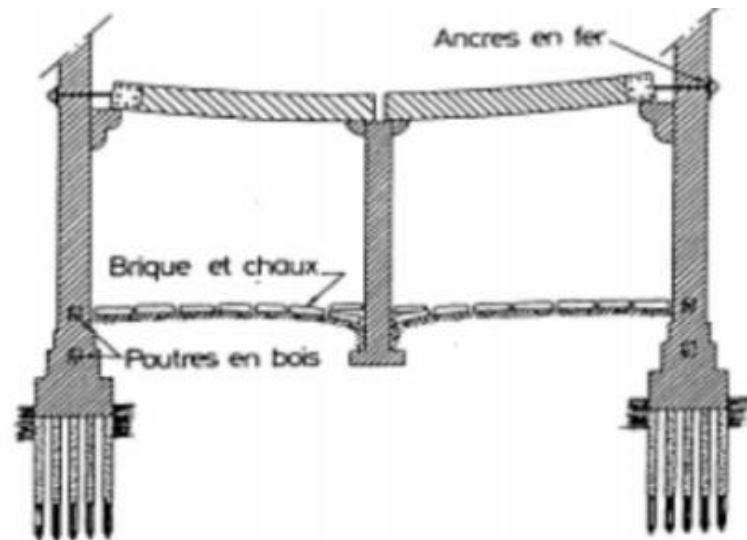
Como se puede apreciar, la madera como pilote, fue, ha sido y es unas de las practicas más utilizadas por el hombre para superar problemas de cimentaciones de diferentes estructuras sobre suelos que por sus características geotécnicas no permitían cimentaciones de tipo superficial. Evidentemente, la madera requiere ciertas características técnicas que permitan su permanencia en el tiempo, por lo cual, hablar de ser tratadas previamente, es pertinente. Diferentes técnicas que con el tiempo han ido evolucionando, han permitido mayores tiempos de su conservación y estabilidad requerida. Otra de las condiciones esenciales, es la consideración de no contar con nudos en el palo, debido a que cada nudo es signo de la existencia de ramas que debilitan al palo señalado, restándole su condición estructural. Para utilizar la madera como pilote, se buscaban especies madereras con muy pocas ramas y de gran longitud. Estos pilotes de madera se usaban también, como construcción de carcelería y

para construcción de ataguías (para construir en seco cimentaciones cuyos niveles estarían bajo el agua), tal como se muestra en la figura:



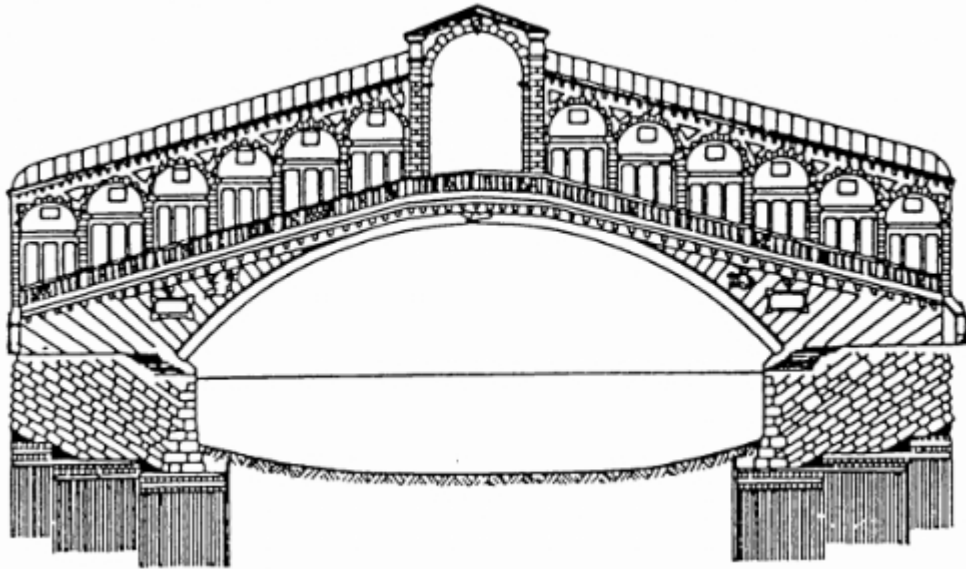
**ATAGUÍA DE PARED SIMPLE DE PILOTES**  
MACAULAY DAVID, 1974, NY, USA, CITY A Story of Roman Planning and Construction

Uno de los clásicos ejemplos de cimentaciones complejas que asombran actualmente al mundo es la ciudad de Venecia en Italia, la cual, fue construida en agua sobre pilotes de madera de la variedad pino, con longitudes importantes para la época de hasta 7 metros de profundidad, según se aprecia en las figuras:



**ESTRUCTURAS TRADICIONALES DE LOS EDIFICIOS VENEZIANOS**  
**KERISEL J., 1985, Rotterdam, Holanda, Histoire de l'Ingenierie geomechanique jusqu'a 1700**

También ha pasado a la posteridad, la presencia del Puente Rialto, en la propia ciudad de Venecia, Italia, cimentado sobre paquetes de pilotes de madera, los cuales en su conjunto han dado la estabilidad geotécnica requerida, lo cual se puede apreciar en las siguientes figuras:



**CIMENTACIONES DEL PUENTE DE RIALTO, VENEZIA, ITALIA**  
KERISEL J., 1985, Rotterdam, Holanda, Histoire de l'Ingenierie geomechanique jusqu'a 1700



**PUENTE DE RIALTO, VENEZIA, ITALIA**

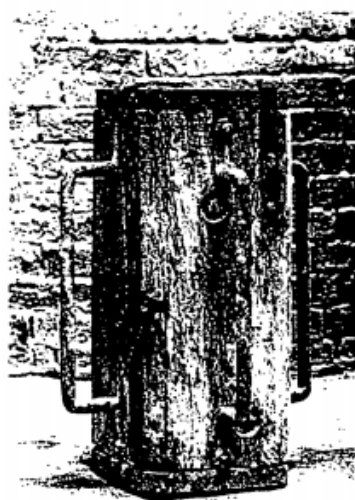
KERISEL J., 1985, Rotterdam, Holanda, Histoire de l'Ingenierie geomechanique jusqu'a 1700

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

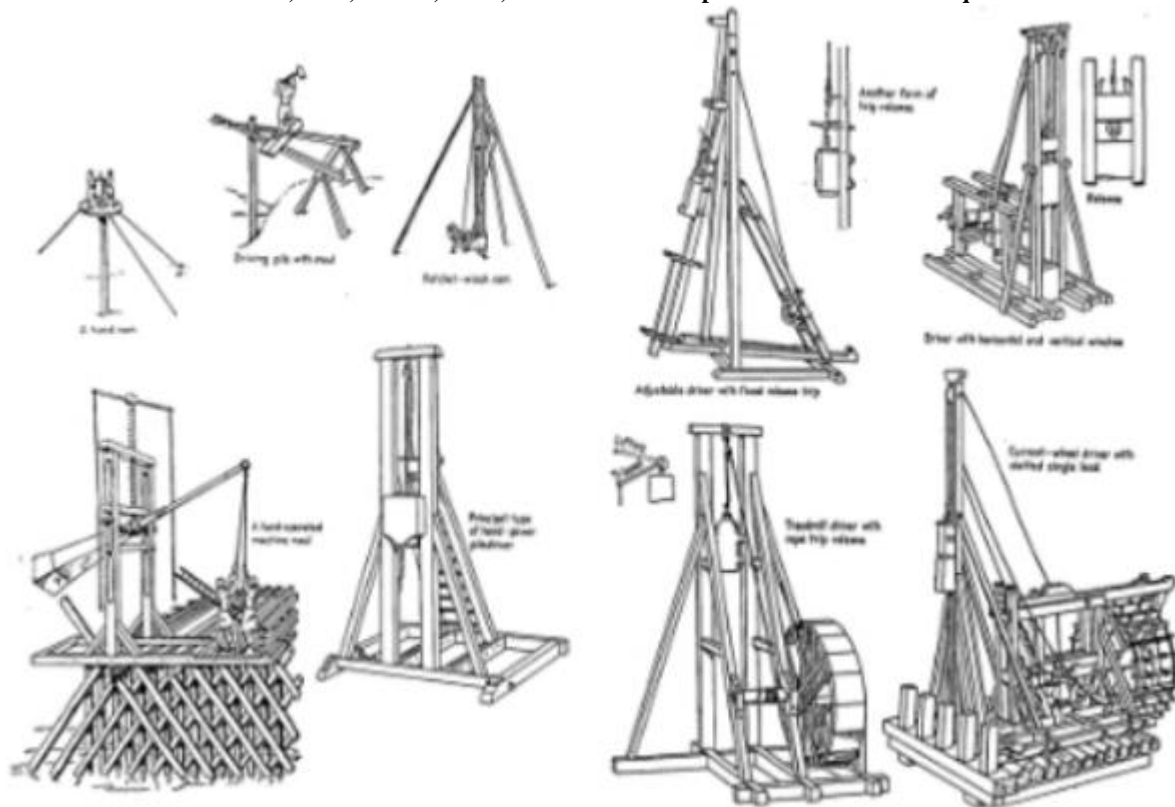
**UNFV**

Para cuando se inició la construcción de edificios que prevalecen hasta la actualidad, contruidos antes del siglo XIX, la cimentación considerada para ellos, era del tipo de zapatas continuas, las cuales solo se apoyaban en pilotes de madera si los suelos eran del tipo blando que no soportaban las cargas colocadas. Evidentemente el diseño y la colocación de los palos era basada en la experiencia del artesano constructor, quien ya poseía el conocimiento del procedimiento constructivo y está de más indicar que se requería cierta maquinaria disímil entre los constructores para la colocación de los palos de madera en las obras que tomaban a su cargo.

Así, la capacidad de carga del palo de madera se limitó básicamente por su espesor y su capacidad de soportar el peso del mazo sin dañarse. De esta manera experimental evidentemente, se inician reglas básicas de hinca de palos de madera que servirían para cimentaciones de estructuras, mediante las cuales la carga admisible de un pilote se basaba en la resistencia al golpe de un martillo de peso y altura de caída conocidos. Como el tipo de estructura de esa época no sufría grandes asentamientos, no surgió otro material que lo reemplace. (Jorge Alva Hurtado, Ing. Civil, UNI, 2002). A continuación, presento algunos implementos de hinca manual de palos o pilotes de madera mencionados en la historia, según las siguientes figuras:

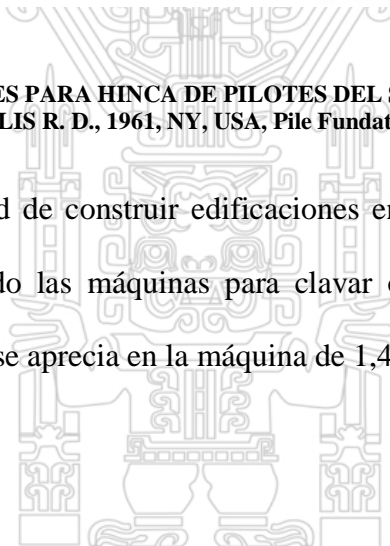


**PISÓN DE HINCA MANUAL**  
**FONTANA V., 1980, Milano, Italia, Architettura e Utopia nella Venecia del Cinquecento**

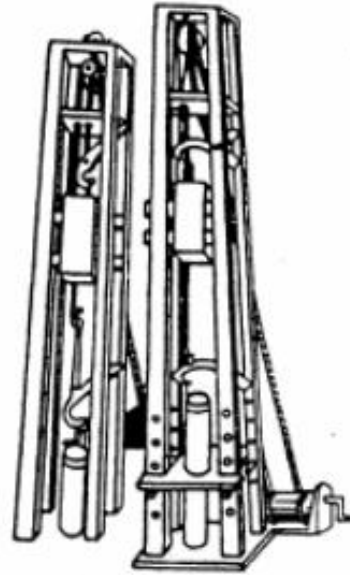


**MARTINETES PARA HINCA DE PILOTES DEL SIGLO XV**  
**CHELLIS R. D., 1961, NY, USA, Pile Foundations**

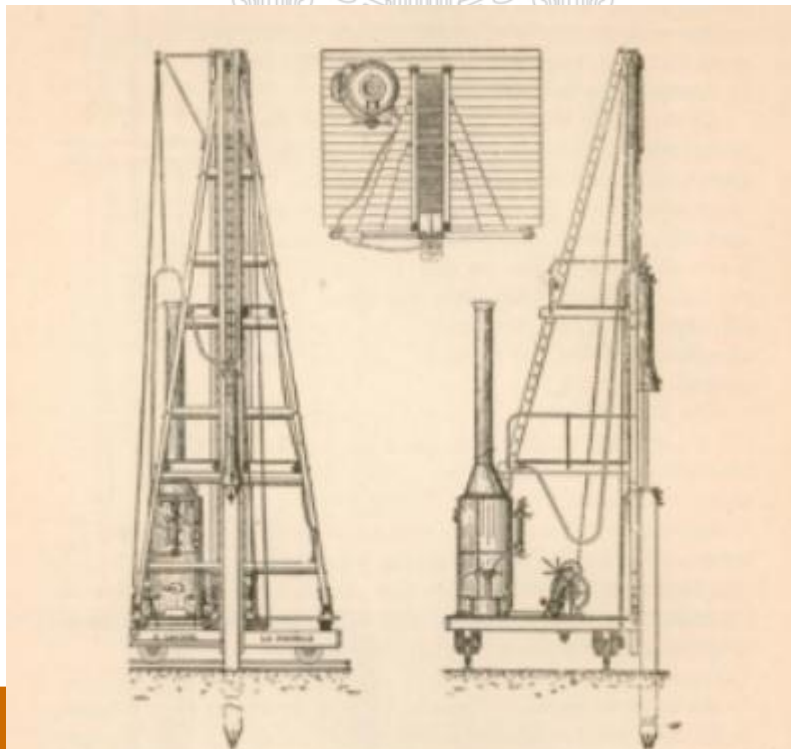
Poco a poco, según la necesidad de construir edificaciones en suelos que presentan alguna dificultad, se van perfeccionando las máquinas para clavar o hincar los palos de madera convertidos en pilotes, tal como se aprecia en la máquina de 1,450, según la siguiente figura:



**MARTINETE DE HINCA**  
**INVENTADA POR FRANCESCO DI GIORGIO**  
**KERISEL J., 1985, Rotterdam, Holanda**  
**Histoire de l'Ingenierie geomechanique jusqu'a 1700**



Llegada la era industrial, la demanda por edificaciones importantes es mayor, y se va requiriendo la utilización de mayores espacios, incluyendo suelos que poseen estratos blandos; razón por la cual, se modernizan los martillos o martinetes para clavar o hincar pilotes, pasando a martinetes a vapor, según lo muestra la siguiente figura:



Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

## HINCA DE PILOTES Y TABLESTACAS Martinete LACUOR a vapor, España

Las mayores demandas, presenta la necesidad de utilizar cimentaciones con pilotes cuyas características técnicas no se han cambiantes en el tiempo, tal como lo es la madera por el deterioro propio del material. Se pasó a la utilización del concreto como material predominante de la época, el cual da paso a la fabricación de pilotes de concreto armado (concreto más varillas de acero) de formas regulares (diferente al palo de madera que es irregular), el cual supero rápidamente al palo de madera y que es capaz de soportar mayores esfuerzos de compresión y tensión; el cual, rápidamente entro en uso requiriendo la fabricación de maquinaria de mayor capacidad que la empleada para madera, entrando el acero en la fabricación de martinetes metálicos que dio paso a la actual maquinaria que disponemos en la actualidad, tal como se muestra en la figura:



## MAQUINARIA MODERNA PARA CIMENTACIÓN POR PILOTAJE PILOTE EXCAVADO Y VACEADO “IN SITU”

Ya con el concreto armado, se pudo producir formas prefabricadas, listas para utilizarse en diferentes proyectos, y con el paso del tiempo la inventiva de maquinaria muy acelerada, se pudo lograr equipos de hinca especialmente fabricados para introducir el pilote en diferentes estratos, hasta alcanzar estratos duros o que fuerzas de rozamiento pudieran garantizar la estabilidad de la estructura por construir. Además, como el concreto es un material muy moldeable y la inventiva de maquinaria sumamente dinámica, se pudo fabricar equipos de perforación capaces de lograr profundidades mayores y en dichos espacios colocar la armadura de acero donde vaciarían el concreto fluido, dando paso así a los pilotes vaciados in situ.

La era industrial puso también en apogeo la utilización del acero, como elemento de peso y formas exactos, con los cuales se pudo fabricar pilotes que rápidamente entrarían a formar parte de las alternativas de materiales a usar en cimentaciones profundas. El acero presenta problemas serios de oxidación, y para protegerlos de este daño, se han fabricado productos para tratamiento como pinturas epoxicas que dan larga vida a estos elementos.

### 2.1.2 Tipos de cimentaciones

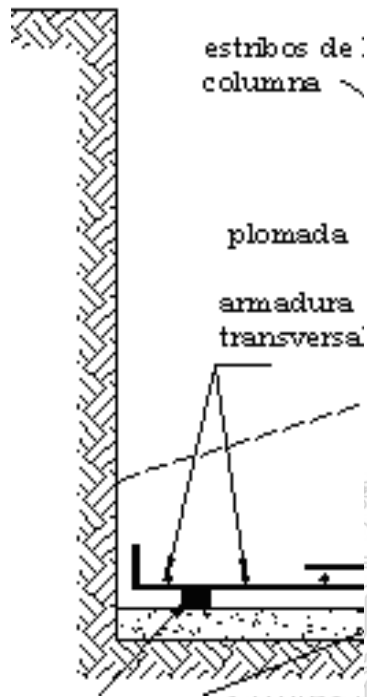
La elección de una cimentación depende de varios factores, uno ellos primordial es sobre qué tipo de suelos se va a colocar la estructura a construir, otra es la carga que la edificación va a aplicarle al suelo; si esta carga es considerable y los primeros estratos del suelo de contacto no ofrecen la capacidad admisible suficiente, será necesario buscar estratos más profundos que si puedan resistir estas importantes cargas resultados de las estructuras por construir.

Es así, que las cimentaciones están directamente asociadas a la ubicación de los estratos con características geotécnicas capaces de resistir las cargas por las construcciones a realizar, de esta manera podemos definir los tipos de cimentaciones en función a la profundidad de los estratos del suelo, superficiales y profundas.

#### **a.- Cimentaciones Superficiales**

Son los elementos encargados de hacer llegar al suelo de contacto la presión ejercida por el conjunto de cargas vivas y muertas de las diferentes estructuras que conforman a la edificación, con sus factores de amplitud correspondientes. Estos elementos se consideran superficiales si se mantienen a una profundidad relativamente corta. Son de concreto, algunas de concreto ciclópeo y otras de concreto armado, estas cimentaciones se les denomina directas por estar directamente en contacto con el estrato que ofrece la resistencia adecuada, usualmente la continuación de una columna o de un muro en su ejemplo más sencillo. Tratándose de una columna o placa aislada corresponde una zapata aislada, tratándose de varias columnas o placas corresponde una zapata combinada y tratándose de un muro corresponde una cimentación corrida. Para mayores cargas podemos emplear una losa o placa de concreto armado (Placa o losa de cimentación) la cual reparte las cargas aplicadas, tanto de los diferentes elementos estructurales como de los muros portantes y de tabiquería.

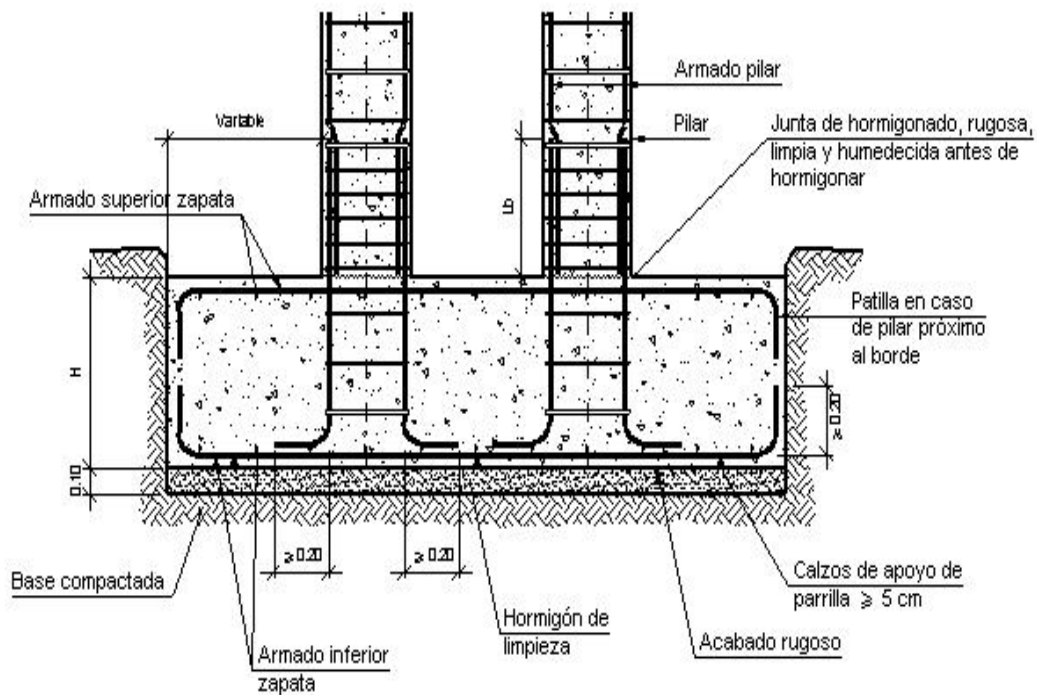
A continuación, mostramos las cimentaciones consideradas como superficiales en las figuras:



recubrimiento

solado

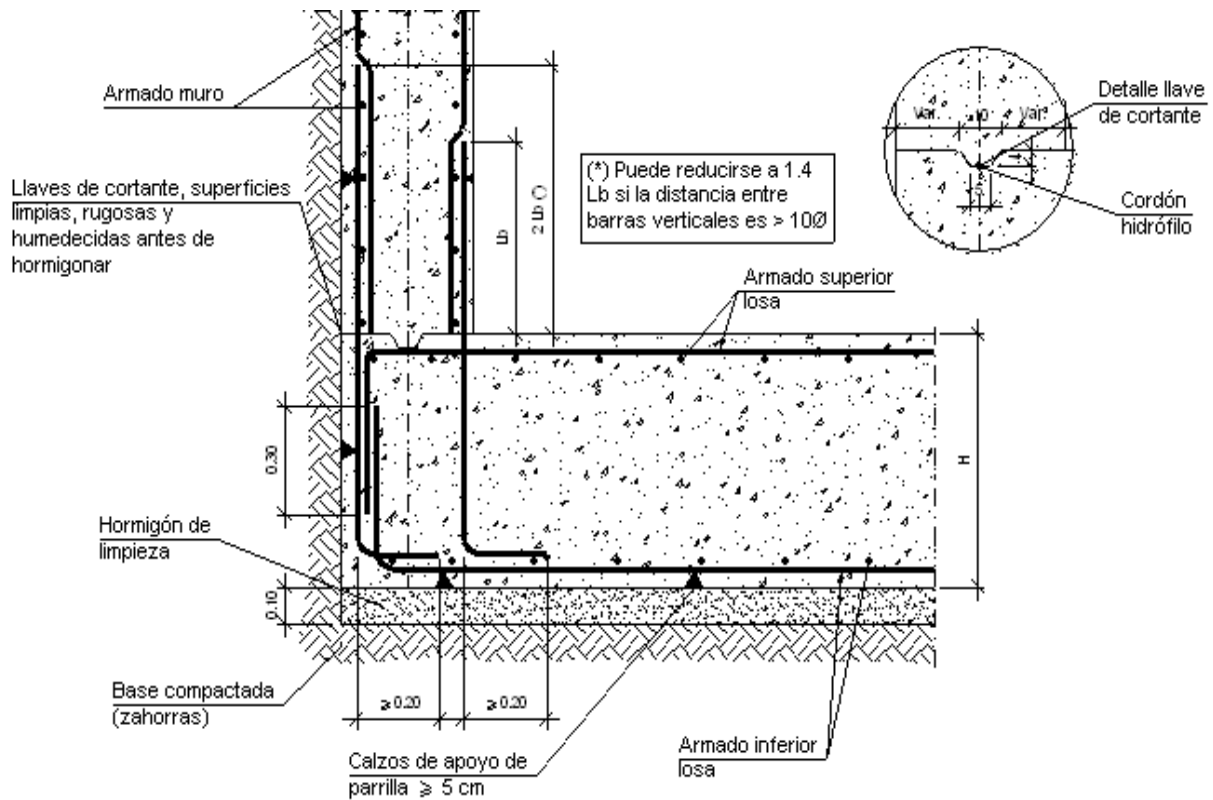
**CIMENTACIÓN SUPERFICIAL  
ZAPATA AISLADA DE CONCRETO ARMADO**



**CIMENTACIÓN SUPERFICIAL  
ZAPATA COMBINADA DE CONCRETO ARMADO**

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**



### CIMENTACIÓN SUPERFICIAL LOSA DE CIMENTACIÓN DE CONCRETO ARMADO

#### b.- Cimentaciones Profundas

Son los elementos encargados de hacer llegar las cargas a estratos de suelos con resistencia adecuada ubicados a mayores profundidades, donde las presiones efectuadas por dichas cargas vivas y muertas sumadas a sus propios valores de amplificación pueden ser transmitidas de manera directa en el estrato resistente o también por haber suficiente fricción lateral entre los pilotes y el suelo interviniente. Dentro de las cimentaciones consideradas como profundas por estar en profundidades mayores, tenemos pilotes, caissons, muros pantalla, jet grouting, congelamiento del suelo entre otros, que, si bien es cierto, su uso limitado por el alto costo operativo al emplear maquinaria especialmente diseñada para tal fin, asegura una estabilidad que garantiza la ejecución del proyecto de infraestructura y su permanencia en el tiempo.

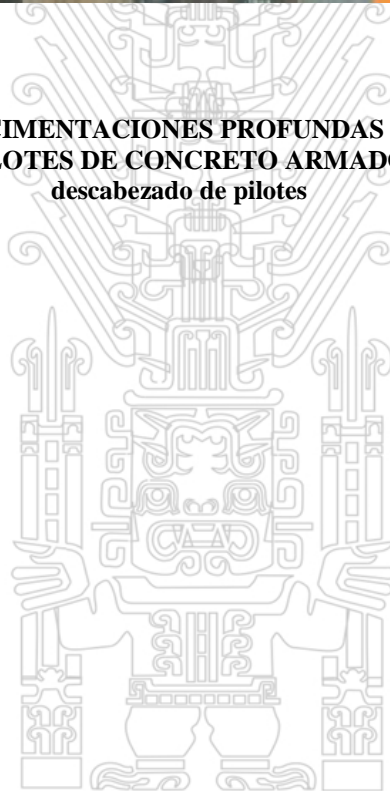
A continuación, mostramos las cimentaciones consideradas como profundas en las figuras  
Tesis publicada con autorización del autor  
No solicitar esta tesis



**pilote hincado**

**CIMENTACIONES PROFUNDAS  
PILOTES DE CONCRETO ARMADO  
descabezado de pilotes**

**acero para empalme**





**CIMENTACIONES PROFUNDAS  
PILOTES DE CONCRETO ARMADO**  
Martinete hincando pilotes prefabricados de concreto armado

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**



**Cuchara bivalva para muros pantalla de concreto armado**

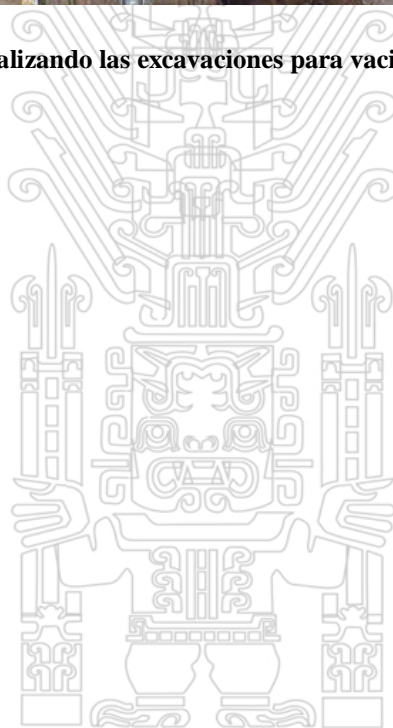


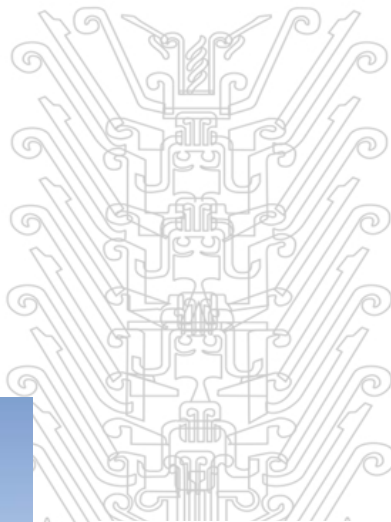
Tesis publicada con autorización del autor  
Cuchara bivalva iniciando las excavaciones para vaciar muros pantalla  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**



**Cuchara bivalva realizando las excavaciones para vaciar muros pantalla**





Armadura entrando en la excavación



A medida que se realiza la excavación va apareciendo el muro pantalla



El uso de los pilotes es necesario cuando el suelo a nivel superficial es demasiado débil y la colocación de una zapata requeriría de una base superior a la del terreno. Los pilotes son adecuados para transmitir las cargas a mayores profundidades donde un estrato es más resistente. Su sección transversal y su gran esbeltez propician, que su colocación mediante una piloteadora o martinete faciliten el hincado. Frecuentemente se hincan en series de filas, soportando cada grupo de pilotes un muro o una columna. Los pilotes se clasifican por sus materiales y sus características estructurales: Los pilotes de acero están constituidos a base perfiles H o tubos de acero laminado, para el caso de los tubos éstos se pueden hincar con sus extremos cerrados o inclusive abiertos y posteriormente se rellenan con concreto después de su hincado. Otra alternativa para este tipo de material son las vigas de patín ancho o los perfiles I.

Según Braja M. Das (1984) la capacidad estructural permisible para pilotes de acero se calcula como:  $Q_{\text{PERM}} = A_S F_S$

Donde:

$A_S$  es el área de la sección transversal del acero;

$F_S$  es el esfuerzo permisible del acero ( $\approx 0.33 - 0.35 f_y$ ).

Los pilotes pueden ser adaptados a las condiciones del terreno; por ejemplo, para hincados en arena densa, esquistos o roca suave se les coloca puntas o zapatas de hincado en el extremo del pilote.

Para condiciones de alto contenido de agua en el subsuelo se debe considerar un espesor adicional al de diseño para compensar la corrosión y/o adicionalmente aplicar un recubrimiento epóxico o inclusive con un encapsulado de concreto. Las ventajas de este tipo

de material son su de fácil manejo refiriéndose a la extensión de la longitud deseada y su corte, soportan esfuerzos elevados de hincado, tienen una alta facilidad para penetrar en estratos duros y poseen una alta capacidad de soporte de carga. Sin embargo, se debe tomar en consideración su alto costo, que pueden estar expuestos a la corrosión y que durante su hincado provocan un alto nivel de ruido. (Palacios, 2004), Los pilotes de concreto son por lo general precolados, pueden tener un armado ordinario y una sección cuadrada u octagonal.

El refuerzo de acero se proporciona con el objeto de que el pilote resista el momento flexionante efectuado durante su levantamiento y transporte, la carga vertical y el momento flexionante causado por una carga lateral en el subsuelo. Se puede también presforzarlo a través de cables de presfuerzo con acero de alta resistencia. Sus principales ventajas son: se pueden someter a hincados muy pesados, son resistentes a la corrosión y facilitan la combinación con una superestructura de concreto; sin embargo, son difíciles de transportar y lograr el corte deseado resulta complicado. Otras variaciones de los pilotes de concreto son los pilotes ademados que se obtienen haciendo un hincado con un ademe de acero en el sitio a colocar, una vez a la profundidad deseada se retira el ademe y se prosigue a llenar con concreto, estos pilotes son baratos y su principal ventaja es el de poder inspeccionar antes de verter el concreto, sus desventajas son el difícil empalme después de fraguar y que los tubos se pueden dañar durante el hincado (Palacios, 2004).

Finalmente, los pilotes compuestos o mixtos, no son más que pilotes donde las partes superiores o inferiores están hechas de materiales diferentes los más recurrentes son: acero, concreto, madera o poliestireno. Los más utilizados son los de concreto en la parte superior y acero en la parte inferior, son requeridos cuando la longitud del pilote excede la capacidad de un pilote simple de concreto. Las diferentes combinaciones que se pueden

llegar a seleccionar dependerán de las necesidades mecánicas y económicas siempre y cuando

el diseño estructural sea conforme a los reglamentos de construcción del sitio.

Según Palacios (2004), los pilotes por sus características estructurales y su funcionamiento pueden ser:

Pilotes de carga de punta, se implementan si los registros de perforación del suelo muestran la presencia de un lecho de roca o de un material rocoso a una profundidad asequible, y se pueden extender hasta la superficie de la roca. En este caso, la capacidad última de los pilotes dependerá en su totalidad de la capacidad de carga del material subyacente, de ahí el nombre de pilotes de carga de punta.

Pilotes de fricción, son aquellos que están totalmente sumergidos en materiales blandos, de tal manera que la resistencia emana de manera casi total, de la adherencia que se desarrolla en el fuste del pilote, aplicándose para suelos cohesivos o de la fricción entre suelo y pilote para los suelos friccionantes. Suelen ser una alternativa cuando los pilotes de punta resultan ser muy largos y costosos.

Pilotes de compactación, se hincan en suelos granulares para lograr una compactación óptima del suelo a proximidades de la superficie del terreno. Su longitud está en función de parámetros como la densidad relativa del suelo previo a la compactación, de la densidad relativa deseada posterior a la compactación y de la profundidad de compactación solicitada. Su longitud por lo general es reducida en comparación con los demás pilotes, no obstante, se necesitan de pruebas de campo para determinar su longitud correctamente.

### **Funciones y usos de los Pilotes**

Según Palacios (2004)

Se debe asegurar el suelo expansivo para prevenir el movimiento estacional.

Se debe brindar la protección en espacios marinos como el muelle o yates.

Soportar muros de contención, contrafuertes o cimentaciones de máquinas.

Compactar el suelo.

(Jorge E. Alva Hurtado, PhD CISMID-FIC-UNI - Lima, Perú 2002).

## **Clasificación de Pilotes**

### **a.- Según el material**

#### **a.1 Pilotes de concreto**

Los pilotes de concreto son elementos de concreto reforzado prefabricado o vaciados in situ. Usualmente tienen una sección transversal cuadrada u octogonal y soportan cargas axiales de trabajo de 450 a 3500 KN.

Actualmente los pilotes pretensados son una buena alternativa, éstos tienen mayor resistencia en flexión y son consecuentemente menos susceptibles a dañarse durante su manipuleo e hincado. Usualmente, el pretensado es una mejor opción que el postensado porque permite el corte de los pilotes, si fuera necesario, sin afectar la fuerza del pretensado. Los pilotes de concreto no toleran condiciones difíciles de hincado como los de acero, y tienen una mayor probabilidad de dañarse. Sin embargo, los pilotes de concreto son muy populares porque son más baratos que los pilotes de acero y su capacidad de carga es importante.

#### **a.2 Pilotes de acero**

Los pilotes de acero son generalmente a base de tubos o de perfiles H laminados. Los pilotes de tubo se hincan en el terreno con sus extremos abiertos o cerrados. Las vigas de acero de patín ancho y de sección I también se usan; sin embargo, se prefieren los perfiles H porque los espesores de sus almas y patines son iguales. Debido a su alta resistencia y ductilidad, los pilotes de acero pueden hincarse en suelos duros y soportar grandes cargas. También su

resistencia en tracción es más alta que cualquier otro tipo de pilote, por ello, son esencialmente apropiados para aplicaciones con grandes cargas de tracción.

Los pilotes de acero son sencillos de unir, por consiguiente, constituyen una buena opción cuando la longitud requerida es mayor que 18m. El constructor simplemente hinca la primera sección, luego suelda con la siguiente sección y continúa hincando. Existen ciertos empalmes especiales de acero que agilizan esta operación. Los pilotes de acero tienen la desventaja de que son costosos y ruidosos cuando se hincan. En ciertos medios, pueden estar sujetos a corrosión.

### **a.3 Pilotes de madera**

El Manual of practice, N°. 17 de la American Society of Civil Engineers lo divide en tres clases:

Pilote tipo A para cargas pesadas, Pilotes tipo B para tomar cargas medias y Pilotes tipo C se para trabajos provisionales en construcción.

### **a.4 Pilotes compuestos**

Las porciones superior e inferior de los pilotes compuestos están hechos de diferentes materiales, por ejemplo; se fabrican de acero y concreto o de madera y concreto. Los pilotes de acero y concreto consisten en una porción inferior de acero y en una porción superior de concreto colado en el lugar. Este tipo es el usado cuando la longitud del pilote requerido para un apoyo adecuado, excede la capacidad de los pilotes simples de concretos colados en el lugar.

Los de madera y concreto consisten en una porción inferior de pilote de madera debajo del nivel permanente de agua y en una porción superior de concreto. En cualquier caso, la

formación de juntas apropiadas entre dos materiales es difícil y por eso, los pilotes compuestos no son muy usados.

Existen también los pilotes compuestos de acero y plástico, consisten en un corazón tubular de acero rodeado por una cubierta de plástico, conformada por material reciclado.

Este tipo de pilote ha sido usado exitosamente en aplicaciones en contacto con el agua, donde su resistencia a la acción de organismos marinos, putrefacción y abrasión, además de su mayor resistencia, los convierte en pilotes superiores que los de madera. Aunque el costo de los materiales de estos pilotes es mayor, su largo período de vida útil y buen estado de conservación los convierte en una alternativa más atractiva que los pilotes de madera. (Palacios, 2004)

## **b.- Según el sistema de construcción**

### **b.1 Pilotes hincados**

Consisten en unidades prefabricadas, usualmente de madera, concreto o acero, hincados hacia el suelo mediante martillos a vapor, neumáticos, diesel, o vibratorios.

### **b.2 Pilotes hincados y vaciados “in situ”**

Los vaciados son removidos o no.

### **b.3 Pilotes excavados**

Según Ramos (2012), algunos tipos de pilotes son excavados.

### **b.4 Pilotes excavados y vaciados “in situ”**

Son pilotes formados perforando un orificio en el suelo y llenándolo con concreto.

## **b.5 Pilotes mixtos**

Los primeros tres tipos de pilotes son los llamados a veces pilotes de desplazamiento, ya que el suelo es desplazado al tiempo que se hunde el pilote en él. En todas las formas de pilotes perforados, y en algunas de pilotes compuestos, se remueve primero el suelo perforando un orificio en el cual se coloca el concreto o los diversos tipos de concreto precolado.

### **Consideraciones geotécnicas**

Según “Cimentaciones profundas” (2006) del Ing. Civil Jorge Alva Hurtado, se debe tener mucho cuidado al momento de considerar los parámetros geotécnicos para el cálculo de las cimentaciones. La incertidumbre para la elección de los mismos obliga a conocer detalladamente el comportamiento de los suelos a fin de elegir correctamente dichos parámetros. Se detallan las formulas y correlaciones para el cálculo de la eficiencia en grupo y la capacidad última de pilotes tanto hincados como perforados.

### **Factor de seguridad en pilotes hincados**

Depende de la confiabilidad con la cual se determina la capacidad última del suelo y control que se efectúe en la instalación del pilote. Se recomienda un valor comprendido entre 2 y 3 si la confiabilidad es alta y un factor comprendido entre 3 y 5 si la confiabilidad es baja.

### **Capacidad de carga de pilotes y grupo de pilotes**

El primer paso en el diseño de pilotes es calcular la capacidad de carga última de pilotes individuales. Existen diversos procedimientos de diseño, los más sencillos serán presentados en este acápite. Después de calculada la capacidad de carga última, deberá determinarse la

capacidad de carga admisible del pilote. Algunos comentarios sobre dicha determinación serán indicados.

En ciertas condiciones del terreno, el suelo que rodea la parte superior del pilote se puede asentar con relación al pilote, cambiando la dirección de las fuerzas de fricción en el lado del pilote y tendiendo a jalarlo hacia abajo. Este fenómeno, conocido como fricción negativa, produce una carga adicional en el pilote, de modo que reduce su capacidad portante. Se presentarán los casos donde puede ocurrir fricción negativa y un método para estimar la máxima fuerza impuesta por la fricción negativa.

La capacidad portante de un grupo de pilotes puede no ser igual a la suma de las capacidades portantes de todos los pilotes en el grupo, por lo que debe considerarse el comportamiento del grupo como un todo. (Alva, 2006).

### **Capacidad de Carga Última de un Pilote en Suelo Cohesivo**

Según “Cimentaciones profundas” (2006), del Ing. Civil Jorge Alva Hurtado, la capacidad de carga última de un pilote está compuesta por la resistencia a la fricción y la resistencia en la punta. En arcillas la resistencia por fricción es mucho mayor que la resistencia por punta.

Luego:

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

La resistencia por fricción lateral en un pilote está dada por:

$$Q_s = \alpha c A_s$$

$A_s$  = superficial lateral empotrada del pilote.

$C$  = resistencia cortante no-drenada promedio de la arcilla a lo largo de los lados del pilote.

$\alpha$  = factor de adhesión.

Se ha encontrado que el valor de  $\alpha$  puede variar significativamente, por lo que es difícil asignarle un valor. Para pilotes hincados se emplean los valores propuestos por Nordlund (1963) y para pilotes excavados se utilizan los valores de Tomlinson (1975).

La resistencia por punta se obtiene de la ecuación de Meyerhof (1953) para la capacidad portante de suelos cohesivos.

$$Q_b = cN_s A_b$$

$A_b$  = área de la base del pilote.

$C$  = resistencia cortante inalterada en la base del pilote.

$N_c$  = factor de capacidad de carga de Meyerhof

### Capacidad de Carga Última de un Pilote en Suelo Granular

Según “Cimentaciones profundas” del Ing. Civil Jorge Alva Hurtado, la capacidad de carga última de un pilote está compuesta por la resistencia a la fricción y la resistencia por punta. En suelos granulares la resistencia por punta es generalmente mayor que la resistencia por fricción lateral, luego:

$$Q_u = Q_s + Q_b$$

La fricción lateral  $f$  a la profundidad  $z$  está dada por:

$$f = k_s p_d \operatorname{tg} \delta$$

$k_s$  = coeficiente lateral de tierra, la relación de la presión lateral a vertical en los lados del pilote.

$p_d$  = esfuerzo efectivo vertical a la profundidad  $z$ .

$\delta$  = ángulo de fricción entre el pilote y el suelo.

Para un pilote rodeado por suelo granular entre las profundidades  $z_1$  y  $z_2$ , la resistencia por fricción lateral es:

$$Q_s = \frac{1}{2} K_s \gamma (z_1 + z_2) \operatorname{tg} \delta A_s$$

donde  $A_s$  es el área empotrada de  $z_1$  a  $z_2$ . Si el pilote está parcialmente sumergido, las contribuciones por encima y por debajo del nivel freático deben calcularse separadamente.

Los valores de  $K_s$  y  $\delta$  presentados por Broms (1966) se presentan en la Tabla 01. Estos valores son válidos hasta un valor de fricción lateral  $f$  de 110 KN/m, que es el valor máximo que puede ser usado para pilotes de sección constante.

En el cálculo de la resistencia por punta, el tercer término de la ecuación de Meyerhof (relacionado a la fricción en la base) es relativamente pequeño para pilotes largos y esbeltos, por lo que usualmente se ignora.

Luego, la resistencia en la base es:

$$Q_b = p_b (N_q - 1) A_b$$

$$P_b = \text{esfuerzo efectivo de sobrecarga en la base del pilote.}$$

$$A_b = \text{área de la base del pilote.}$$

Los valores de  $p_b$  se obtienen de los resultados del ensayo de penetración estándar (sin aplicar correcciones por profundidad, nivel freático o contenido de limo).

Los valores de  $N_q$  de Meyerhof tienden a ser extremadamente altos para cimentaciones por pilotes, cuando se comparan con fallas reales, por lo que los valores obtenidos por Berezantsev (1961), son más adecuados.

El valor máximo de resistencia por punta a ser usado es de 1,100 KN/m<sup>2</sup>.

Cuando se calcula la resistencia por fricción y por punta en pilotes excavados en suelo granular, deberá asumirse siempre una densidad relativa baja, independientemente del estado inicial del suelo.

### Valores de $K_s$ y $\delta$ para pilotes hincados

Material del Pilote	$\delta$	$K_s$	
		Densidad relativa baja ( $\phi \leq 35^\circ$ )	Densidad relativa alta ( $\phi > 35^\circ$ )
Acero	20°	0.5	1.0
Concreto	3/4 $\phi$	1.0	2.0

## Capacidad de Carga Admisible de un Pilote

La capacidad admisible se obtiene dividiendo la carga última por un factor de seguridad. Los factores de seguridad se pueden aplicar a la capacidad de carga última o a las capacidades de carga por fricción y por punta separadamente. La capacidad de carga admisible se toma como la menor de:

$$(Q_s + Q_b) / 2.5 \quad \text{y} \quad Q_s / 1.5 + Q_b / 3.0$$

donde  $Q_s$  y  $Q_b$  son las cargas últimas por fricción y por punta respectivamente. El valor de  $Q_s$  en la primera ecuación se basa en factores que utilizan valores promedio de resistencia cortante, mientras que en la segunda ecuación se emplean valores en el rango bajo de la resistencia cortante.

Las fórmulas de capacidad de carga de pilotes solo presentan un rango aproximado de la capacidad de carga última. Excepto cuando se hincan pilotes hasta el rechazo, es usual realizar por lo menos un ensayo de carga en cada sitio. Se pueden hincar pilotes de prueba y ensayarlos hasta la falla. En base a los resultados alcanzados, el ingeniero puede decidir la modificación de las longitudes requeridas.

Es preferible demorar el ensayo de los pilotes tanto cuanto sea posible después del hincado, para permitir el asentamiento del pilote. Esto no es importante en pilotes en suelo granular, donde no son significativos los efectos del tiempo, pero en limos y arenas limosas la capacidad de carga última de un pilote puede ser mucho más alta inmediatamente después del hincado, que una vez que ha transcurrido un período de tiempo. En arcillas lo contrario es usualmente (pero no siempre) cierto; la capacidad portante aumenta con el tiempo, particularmente en arcillas blandas o sensibles. Para un grupo de pilotes debe verificarse la

capacidad portante del grupo como un todo. (“Cimentaciones profundas”, (2006) del Ing. Civil Jorge Alva Hurtado.

### **Capacidad de Carga de Grupos de Pilotes**

Este valor está definido por:

$E_f$  = carga promedio en pilote en grupo en la falla/carga de falla en pilote individual

### **Suelos Granulares**

Los pilotes hincados compactan al suelo granular, aumentando su capacidad portante. Ensayos en modelos han demostrado que los factores de eficiencia de grupo de pilotes hincados en arena pueden llegar hasta 2. En pilotes excavados, la acción de excavación más bien reduce que aumenta la compactación, por lo que el factor de eficiencia de grupo es difícil que sea mayor que 1.

En diseño se usa un factor de eficiencia de grupo de 1 para todo tipo de pilotes en suelo granular. Esto significa que se ignoran los efectos de grupo al predecir la capacidad portante. Sin embargo, los pilotes excavados deben tener un espaciamiento mayor que 3 diámetros (centro a centro).

### **Suelos Cohesivos**

En suelos cohesivos se considera al grupo (pilotes y suelo contenido) como una cimentación profunda; la carga última del grupo se puede evaluar con la ecuación de Meyerhof. Por ejemplo, para un ancho de grupo  $B_1$ , longitud  $B_2$ , profundidad  $D$ , la carga de falla es:

$$Q_u = B_1 B_2 \epsilon N_c \gamma$$

$N_c$  = factor de capacidad de carga de Meyerhof

$\gamma$  = factor de forma.

$\hat{c}$  = cohesión promedio de la arcilla que rodea al grupo.

### Pilotes de Punta Hincados al Rechazo

Debido a que la carga última está limitada por la resistencia del pilote y no por la capacidad portante del terreno, no existe efecto de grupo.

### Suelos que Contienen Estratos Blandos

Cuando existen capas de arcilla blanda por debajo de los grupos de pilotes puede ocurrir un sobreesfuerzo, por lo que es necesario realizar una verificación. Se asume que la carga del grupo de pilotes se repartirá como se indica.

#### Pilotes de fricción en arcilla

Se asume que la carga se distribuye como se muestra en la Figura 2.4, de los dos tercios del empotramiento del pilote en el estrato resistente.

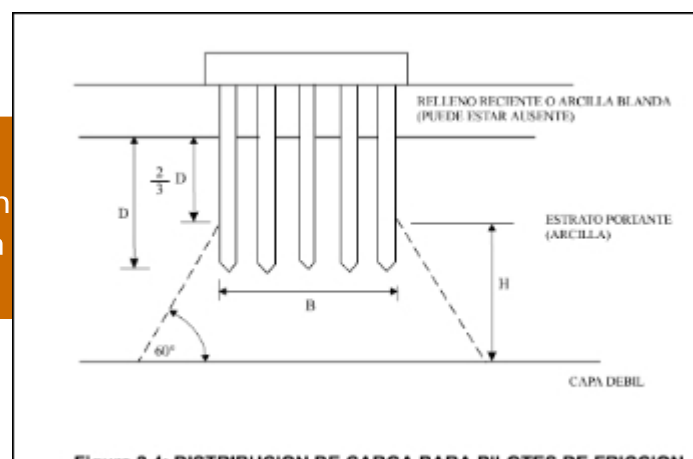
Pilotes de punta en arena o grava Se asume que la carga se distribuye como se muestra en la Figura 2.5, a partir de la base de los pilotes.

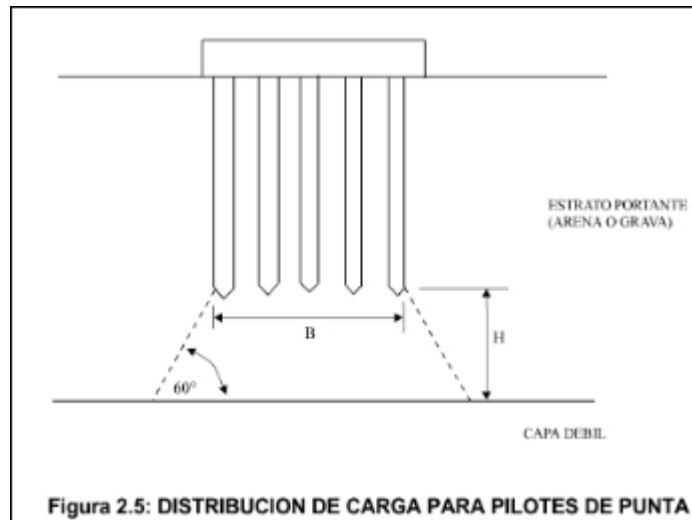
En cada uno de los casos indicados, para un grupo de pilotes de dimensiones en planta B x L, que soporta una carga Q, el área esforzada del material blando será:

$$(B + 2 H \operatorname{tg}30^\circ) (L + 2 H \operatorname{tg}30^\circ) = (B + 1.15 H) (L + 1.15 H)$$

Luego, el esfuerzo en la parte superior del estrato blando será:

$$Q / (B + 1.15 H) (L + 1.15 H)$$





### Longitudes de Pilotes Cercanos

En tanto sea posible, todos los pilotes de un grupo deben tener aproximadamente la misma longitud. Cuando se tengan pilotes de diferente longitud, cercanos, es usual diseñar al pilote más corto lo suficientemente largo, de modo que una línea inclinada a  $45^\circ$  de su base no interseque al pilote vecino más largo. Esto es para evitar que la carga de la punta del pilote corto sea transmitida al pilote largo (Alva, 2002)

### Diseño estructural

Según “Cimentaciones profundas” (2002) del Ing. Civil Jorge Alva Hurtado, debemos entender que la modelación estructural aplicada a programas de cómputo es cada vez más usada por los ingenieros calculistas en todo el mundo. Es entonces necesario saber el nivel de confiabilidad y las técnicas usadas para la aplicación del mismo.

## **Interacción suelo estructura**

El análisis elástico de las fundaciones es una simplificación de la interacción real entre la fundación y el suelo (Hain y Lee, 1974; Horvant, 1983). Consecuentemente, no se producen siempre estimaciones exactas de las tensiones por flexión o los establecimientos diferenciados en la cimentación.

El problema primario con el modelo de la viga elástica de fundación es que asume la acción de cada resorte independientemente de los otros, en contraste a esto las cargas ocasionan influencias debajo de un suelo y en los suelos próximos. Esta carencia de la interacción entre los resortes genera más error que la incertidumbre en seleccionar  $K_s$ . Rutinariamente los ingenieros usan modelos de elementos finitos, éstos representan el suelo como un medio elástico usando resortes. Sin embargo, ahora este método puede gozar de un uso más amplio ya que con la tecnología se han logrado ordenadores de gran alcance y el software apropiado para dicho análisis.

## **Comportamiento carga-deformación**

Sen Palacios (2004) muchas estructuras no pueden soportar desviaciones laterales grandes, entre éstas tenemos edificios, puentes y otras similares estructuras típicas que pueden tolerar no más de 0.25 a 0.75 pulgadas (6-18 mm) de movimiento lateral. Por lo tanto, cuando hay límites en las deflexiones laterales permisibles, se puede conducir a un análisis carga - deformación, para determinar la carga lateral que corresponde a cierta desviación permisible. Este análisis también evalúa el máximo momento,  $M_{max}$ , que corresponde a dicha deflexión.

## **Métodos de análisis**

El análisis carga - deformación debe considerar que la resistencia a la flexión depende del módulo de elasticidad ( $E$ ), del momento de inercia ( $I$ ) de la fundación y se evalúa fácilmente

utilizando los principios del análisis estructural. Sin embargo, la resistencia del suelo es mucho más difícil de evaluar. Intentos tempranos para analizar deflexiones laterales, tales como los de Matlock y Reese (1960), consideraron que el suelo es un material lineal elástico donde la relación de la fuerza lateral del suelo versus la deflexión lateral está definida como la rigidez “K”. Este análisis usa la técnica de la viga elástica de fundación que define la relación entre la presión de la placa y deformación usando el módulo de reacción del subsuelo  $K_s$ .

$$K_s = q / \delta$$

Donde:

$q$  = Presión en la placa.

$\delta$  = Deformación.

Estos métodos tempranos siempre consideraron  $K_s$  como una constante en cualquier profundidad determinada. En otros trabajos se asumió que la resistencia lateral era proporcional a la deflexión lateral.

En realidad, esta función es claramente no lineal. MacClelland and Focht (1958) eran los primeros en reconocer la importancia de este comportamiento no lineal. Eran también los primeros para señalar datos experimentales de una prueba de carga lateral a escala completa (Cimentaciones profundas, 2002, Ing. Civil Jorge Alva Hurtado, 2002).

### **Determinación del módulo de reacción del subsuelo**

Cuando se aborda el estudio de cimentaciones, o de estructuras embebidas en el terreno, es cada vez más frecuente utilizar programas de cálculo en ordenador, que utilizan el modelo matemático de Winkler (o del coeficiente de balasto), para definir el comportamiento del terreno. Desafortunadamente esta tarea no es tan simple como pudiera parecer porque  $K_s$  no es una propiedad fundamental del suelo. Esta magnitud también depende de muchos otros

factores, incluyendo los siguientes:

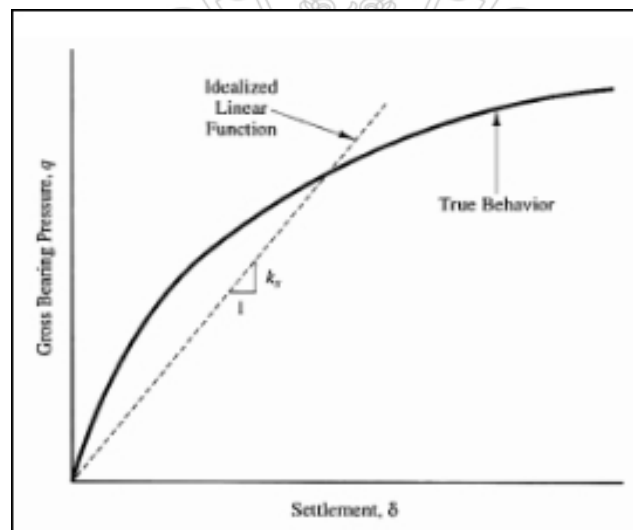
La anchura del área cargada.

La profundidad del área cargada debajo de la superficie.

Tiempo.

La posición de la carga.

Actualmente no sólo el valor de  $K_s$ , incluso otros factores se pueden definir por la relación no lineal carga-deformación.



### Relación no lineal de carga-deformación

Este parámetro tiene la dimensión de un peso específico y, aunque depende de las propiedades del terreno, no es una constante del mismo ya que el asiento de una cimentación apoyada sobre un medio pseudo elástico, depende de las dimensiones del área cargada y existen grandes diferencias si se estudian estructuras verticales.

La elección del coeficiente de balasto ha sido objeto de varias propuestas, sugeridas por diversos autores, los cuales, en general, parten del trabajo inicial de Kart Terzaghi que, bajo el

título “Evaluation of coefficients of subgrade reaction”, fue publicado en la revista Geotechnique, en 1995.

Terzaghi, para el estudio de cimentaciones, hizo dos propuestas, una para suelos arcillosos y otra para suelos arenosos, indicando, en cada caso, el valor  $K_s$  (1) a utilizar con una placa cuadrada de lado igual a (1 pie), para pasar luego a placas cuadradas de lado (b) y a cimentaciones rectangulares de dimensiones (b x l). Para el estudio de elementos verticales, Terzaghi dio las oportunas recomendaciones considerando coeficientes de balasto en sentido horizontal, pero diferenciando dos casos:

El estudio de pilotes o placas sometidos a cargas horizontales, definiendo el parámetro  $K_h$ .

El estudio de pantallas o tablaestacas construidas para contener el terreno contiguo a una excavación, en cuyo caso definió el parámetro  $l_h$ .

### **Distribución de cargas**

Cuando la carga vertical transmitida por el pilar P coincide con el centro de gravedad de los n pilotes agrupados bajo un encepado de suficiente rigidez, puede admitirse que cada pilote recibe una carga:

$$P_i = P / n$$

Existen bastantes casos, sin embargo, en que el pilar transmite al encepado además de la carga vertical P, un esfuerzo cortante o carga horizontal Q y un momento M. Bajo estas sollicitaciones el encepado sufre desplazamientos y giros de los que resultan cargas desiguales en los pilotes, llegando éstos, en algunos casos, a trabajar a tracción. Para determinar los esfuerzos en cada pilote pueden seguirse tres métodos:

Ignorar la presencia del terreno, descomponiendo por métodos estáticos las acciones exteriores según las direcciones de los pilotes, suponiendo estos articulados en el encepado.

Sustituir las reacciones horizontales del terreno sobre los pilotes por un empotramiento ficticio a una cierta profundidad, determinando luego los esfuerzos mediante un programa de cálculo de estructuras.

Suponer los pilotes embebidos en un medio elástico continuo al que se aplican las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones.

El más sencillo es evidentemente el primero, el cual resulta suficientemente aproximado cuando los pilotes son relativamente largos y esbeltos y de la misma longitud.

El caso más frecuente es el del grupo de pilotes paralelos:

### Carga vertical excéntrica

Equivale al sistema Pt:

$$M_x = Pt \cdot e_y$$

$$M_y = Pt \cdot e_x$$

Donde:

$x_i, y_i$  = Coordenadas del centro de cada pilote referidas a los ejes del encepado.

$A_i$  = Área de cada pilote.

$P_t$  = Carga vertical total, incluyendo el peso del encepado, aplicando la fórmula de la compresión compuesta:

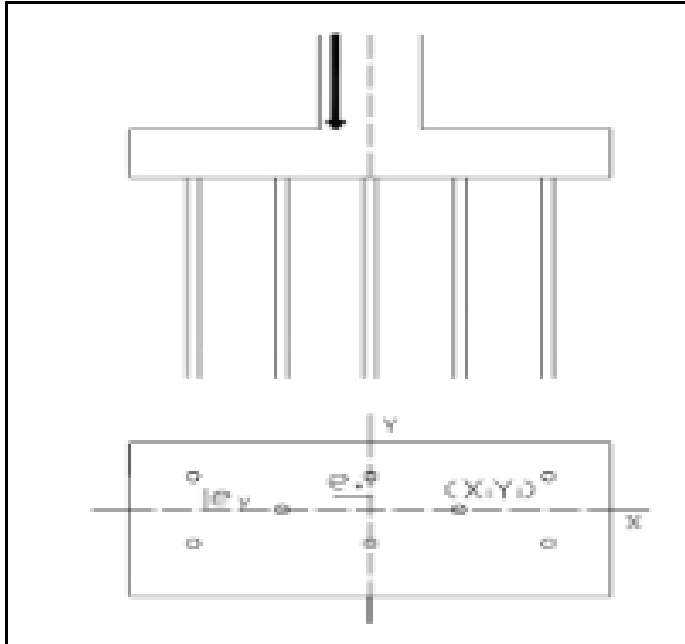
$$\sigma(x_i, y_i) = \frac{P_t}{\sum A_i} + \frac{M_x \cdot y_i}{I_x} + \frac{M_y \cdot x_i}{I_y}$$

Por el teorema de Steiner y despreciando la inercia de la sección de cada pilote resulta:

$$I_x = \sum A_i \cdot y_i^2$$

$$I_y = \sum A_i \cdot x_i^2$$

Y en el caso de ser todos los pilotes de igual sección A, queda finalmente:



$$P_i = \sigma(x_i, y_i) \cdot A = \frac{P_t}{n} + \frac{M_x \cdot y_i}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \cdot x_i}{\sum x_i^2}$$

### Grupo de Pilotes paralelos

Si alguna de las cargas  $P_i$  resultara negativa (es decir, de tracción), puede admitirse si es del mismo orden del peso del pilote. Si es superior puede aumentarse el peso del encepado (lo cual suele ser antieconómico) o mejorar la inercia del grupo (mayor  $\sum x^2$  o  $\sum y^2$ ) separando más los pilotes. En determinados casos se llega a hacer trabajar los pilotes a tracción aumentando su longitud y disponiendo una armadura adecuada.

### Sistema de carga general

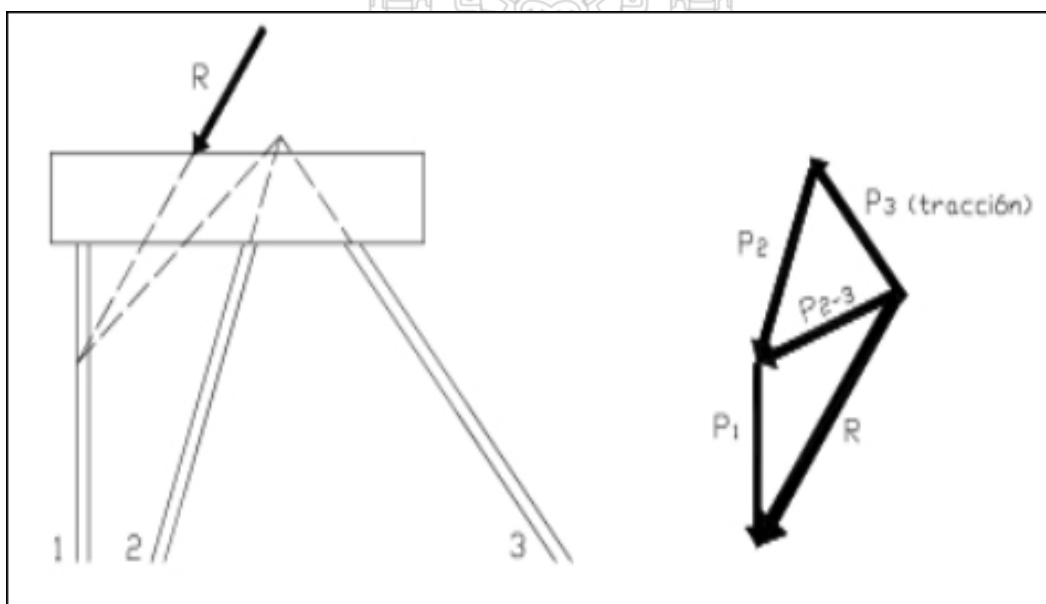
Palacios (2004) El sistema de cargas, reducido al centro de gravedad del encepado,

comprende una carga vertical  $P_t$ , una carga horizontal  $Q$  y un momento  $M$  (respecto al eje de

mayor inercia del encepado y despreciando el momento en un plano ortogonal). Dicho sistema puede reducirse a una resultante inclinada  $R$ , actuando con excentricidad  $e$  respecto al eje del encepado.

Si se suponen los pilotes articulados es evidente que hay que colocar pilotes inclinados para conseguir un sistema de reacciones axiales en los pilotes que equivalga a la resultante exterior  $R$ . Normalmente los pilotes no sobrepasan los  $15^\circ - 20^\circ$  de inclinación respecto a la vertical y no suelen combinarse más de 2 ó 3 inclinaciones en un mismo encepado.

En estos casos las fuerzas en los pilotes pueden obtenerse por descomposición gráfica, según el método debido a Culmann (fig. 4.2). Si existen varios pilotes en una misma dirección se substituyen por su eje común (línea de la misma inclinación que pasa por el centro de gravedad de las cabezas de los pilotes) y luego la componente correspondiente a ese eje se divide entre los pilotes agrupados en el mismo.



## Fuerzas horizontales

Según Palacios (2006) una cimentación por pilotaje puede estar sometida a fuerzas horizontales derivadas de los empujes de viento, fuerzas de corriente de agua, efectos sísmicos, etc. Si  $V$  es el valor de las cargas verticales:

### Cargas horizontales.

$\leq 0.05 V$

$0.05 V - 0.10 V$

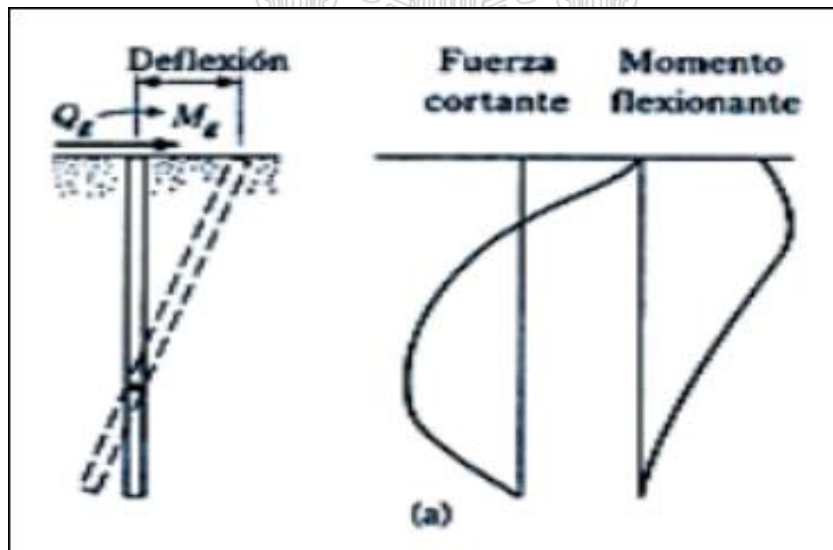
$> 0.10 V$

### Actuación.

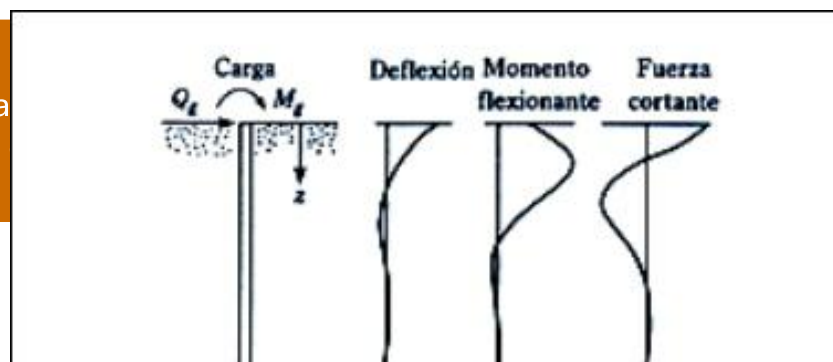
No es necesario considerarlas

Las absorben los pilotes a flexión

Se requieren pilotes inclinados, anclajes, etc.



Comportamiento de Pilotes inclinados



Para el caso intermedio existen diversas soluciones teóricas. Supondremos los pilotes empotrados en el cabezal, lo cual es admisible en estructuras de hormigón con encepados arriostrados. Si los pilotes son cortos se comportan rígidamente, rompiendo el terreno lateralmente. Broms (1964) ha propuesto las fórmulas siguientes:

Suelos granulares:

$$H_{rot} = 1.5 \gamma L^2 D K_p$$

$$M_{max} = 2/3 H_{rot} L$$

Suelos cohesivos:

$$H_{rot} = 9 C_u D (L - 1.5 D)$$

$$M_{max} = H_{rot} (0.5L + 0.75 D)$$

Donde:

$H_{rot}$  = Carga horizontal máxima que aguanta el terreno. Sobre ella debe adoptarse un coeficiente de seguridad  $F \geq 2.5$

$\gamma$  = Peso específico efectivo del suelo.

$L$  = Longitud del pilote.

$D$  = Diámetro.

$K_p$  = Coeficiente de empuje pasivo de Rankine

El  $M_{max}$  se produce lógicamente en el empotramiento del cabezal. En el caso de pilotes de longitud intermedia el  $M_{max}$  se alcanza a una profundidad  $f$  pero antes se ha producido la rotura en el empotramiento con un momento:

$$M_y = (0.5 \gamma D L^3 K_p) - H_{rot} * L \text{ (suelos granulares).}$$

$$M_y = 2.25 C_u D g^2 - 9 C_u D f (1.5 D + 0.5 f) \text{ (suelos cohesivos).}$$

$$L = 1.5 D + f$$

En pilotes largos pueden producirse desplazamientos importantes y la rotura a flexión sin llegar a romper el terreno en una extensión apreciable.

Este comportamiento se ha estudiado considerando el terreno como un medio elástico o asimilado el pilote a una pieza flexible que carga horizontalmente sobre apoyos elásticos representativos del terreno a través de una constante denominada coeficiente de balasto.

Este último método es el que resulta de más fácil aplicación, aún con la dificultad inherente en la estimación del coeficiente de balasto horizontal  $K_h$ .

En el caso de arcillas medias o duras puede admitirse que  $K_h = cte$  con la profundidad, mientras que en los suelos granulares y en las arcillas blandas es más realista suponer que crece lineal o parabólicamente con la misma (Palacios, 2004).

Una vez fijado  $K_h$  puede definirse la rigidez relativa  $T$  del sistema suelo – pilote por la expresión:

$$T = \sqrt{\frac{EI}{K_h}}$$

Donde:

$EI$  es la rigidez del pilote.

Mattlock y Reese han calculado el momento y el desplazamiento a cualquier profundidad de un pilote sometido a una carga  $H$  en cabeza:

$$M = F_m.H.T$$

$$\delta = F_\delta \frac{HT^3}{EI}$$

siendo  $F_m$  y  $F_\delta$  coeficientes adimensionales que aparecen en la figura 2.3.

Una vez conocido el momento máximo y la armadura correspondiente, ésta se dispone en el 50 – 60% de la longitud del pilote.

## 2.2 Estado del arte

Como parte de esta investigación, presento como parte del estado del arte, las diversas discusiones vertidas en conversatorios denominados Jornadas Técnicas, llevados a cabo en el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) de España; lugar donde se concentra el estudio teórico, las prácticas de laboratorio, compulsadas con el ejercicio profesional altamente especializado en tecnologías aplicadas a la mecánica del suelo. Los Docentes e Investigadores conjuntamente con los Residentes de obra, actualizan conocimientos y practica en temas directamente desarrollados en la mejora continua del suelo para cimentaciones de edificaciones de toda índole, sobre todo las que demandan grandes cargas y solicitaciones especiales de diseño y construcción por alguna limitación del suelo donde se deberán ejecutar los proyectos que así lo determinen. En ese sentido presento lo último en avance respecto a cimentaciones por pilotaje.

### 2.2.1 Pilotes

#### Generalidades

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

Se expone de manera concreta como se enfrenta un proyecto de cimentación por pilotaje de manera actualizada (estado del arte), para establecer la cimentación de una edificación requiere seguir una serie de pasos que podrían ordenarse de la forma siguiente: (según A. Soriano P., 2016)

Estudio del terreno e Informe Geotécnico

Selección del tipo de pilote

Determinación de dimensiones del pilote

Instrucciones para la ejecución

En estas se exponen, de manera breve, una serie de criterios que podrían guiar la labor del ingeniero civil en la ejecución de cada uno de los pasos mencionados. Se trata únicamente de una propuesta que puede servir como discusión y debate del tema en cuestión.

#### **a. Estudio del terreno e Informe Geotécnico**

El área del terreno debe reconocerse de manera que el terreno quede suficientemente bien conocido tanto en planta como en profundidad.

Las técnicas de reconocimiento que pueden usarse quedan bien descritas en muchos documentos que el ingeniero civil debe consultar. El aspecto que parece ser siempre más controvertido es el relativo a la intensidad de los reconocimientos. Cuántos sondeos deben hacerse y que pruebas “in situ” y ensayos de laboratorio deben realizarse. Las ideas que deben guiar esta decisión son las siguientes:

Para una situación normal, se deben realizar siempre al menos tres sondeos, cuya longitud sobrepase claramente las profundidades estimadas de las puntas de los posibles pilotajes.

Para grandes áreas ocupadas y también en situaciones normales, conviene realizar sondeos mecánicos que están separados entre sí más de 20 m aproximadamente y que cubran toda el

área de la edificación.

Conviene, además de los sondeos mecánicos, realizar ensayos de penetración continua. De tipo estático o de tipo dinámico, dispuestos en planta entre los sondeos. Un criterio razonable puede consistir un ensayo de este tipo cada 100 m<sup>2</sup> de ocupación en planta.

Para definir el número de ensayos de laboratorio es preciso clasificar, antes, los tipos de terreno existentes en el subsuelo. En términos generales, una formación particular (depósitos de arenas, capa de arcilla, fondo rocoso, etc.), queda mismamente definida en un determinado aspecto cuando, al menos, se hacen dos determinaciones en laboratorio de la propiedad que controla al aspecto en cuestión.

En términos generales, se recomienda tomar al menos dos muestras en cada formación diferente de las que atraviese un determinado sondeo y no espaciar, dentro de un sondeo, la toma de muestras más allá de 5 m, aunque la formación atravesada sea, aparentemente, muy homogénea.

Cuando se atraviesan formaciones arenosas y no se pueden tomar muestras inalteradas, es conveniente realizar ensayos SPT en los sondeos. Es recomendable hacer un registro continuo o casi continuo de este ensayo, de manera que se obtenga un valor del índice N cada metro de avance. Cuando el suelo es cohesivo, el ensayo SPT puede realizarse también, aunque con espaciamientos mayores, del orden de 2 a 3 m, de esa manera se podrán tomar, además, las muestras inalteradas necesarias para caracterizar el terreno.

Todas las muestras tomadas en los reconocimientos deben ser sometidas a los ensayos de identificación más sencillos (granulometrías y plasticidad, si es el caso), sólo algunas (una de cada cinco y dos como mínimo de cada formación) deben ser sometidas a ensayos de identificación más completos (peso específico de partículas, análisis químicos y densidades extremas de arenas).

Todas las muestras inalteradas deben ser ensayadas para conocer su densidad seca y humedad

Los ensayos de resistencia y deformabilidad deben realizarse únicamente con muestras poco alternadas o inalteradas. Cada formación de suelos o rocas debe ser ensayada, al menos, con dos ensayos de este tipo.

Para poder proyectar un pilotaje hincado conviene realizar ensayos de resistencia en laboratorio (triaxial preferentemente) con los suelos atravesados y en particular con los más próximos a las puntas de los pilotes. En el caso de rocas, cuando han de soportar pilotajes por punta conviene conocer su naturaleza, su grado de alteración, la intensidad de su diaclasado (RQD) y la resistencia a comprensión simple de los fragmentos más sanos. Con estos datos se podrá estimar el posible avance de la hincada para empotrarse en la roca.

Es recomendable que en uno de los sondeos se realice la toma de muestras con mayor intensidad y que se ensayen los terrenos con más profusión, de manera que, al menos en una vertical, el terreno quede definido con mayor detalle.

En cualquier caso, se recomienda que la definición precisa de los ensayos de laboratorio a realizar se haga después de conocer el resultado de los primeros sondeos y que tal definición se concluya una vez estén disponibles los resultados de todos los trabajos de campo. Además, la definición específica de los ensayos más complicados (resistencia y deformabilidad) deben realizarse una vez identificados claramente (incluso con los resultados de los ensayos de identificación de laboratorio) los horizontes, estratos o niveles que se pretende caracterizar con la ejecución de tales ensayos.

El informe Geotécnico contendrá toda la información geotécnica disponible, ordenándola en un Informe Geotécnico y una serie de anexos que faciliten su utilización posterior. La información de detalle que debe figurar en los anexos dependerá de la amplitud de datos existentes.

#### **a.1 Anexo de trabajos de campo**

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

Este anexo contendrá la información relativa a:

Situación detallada de los reconocimientos

Columnas litológicas y fotografías de testigos de sondeos

Definición de la localización de las muestras tomadas y observaciones sobre el procedimiento utilizado para tomarlas, transportarlas y almacenarlas.

Resultados detallados de cada uno de los ensayos “in situ”

Datos de observación del nivel freático

Observaciones detalladas del técnico responsable de los trabajos de campo.

## **a.2 Anexos de ensayo de laboratorios**

Este anexo contendrá la información de detalle correspondiente a:

Relación de muestras con indicación de su procedencia y su naturaleza (alterada, inalterada, tubo portatestigos, testigos parafinados, etc.).

Informe sobre la apertura de muestras y descripción de su estado. Es recomendable incluir fotografías realizadas en el momento de la apertura.

Relación detallada de ensayos realizados

Resultados de los ensayos debidamente ordenados.

El Informe Geotécnico tratará al menos los aspectos siguientes:

Propósito del informe geotécnico.

Descripción de la obra, las tipologías estructurales previstas y una estimación de las cargas principales.

Trabajos de campo, con referencias cronológicas de los distintos trabajos realizadas y descripción de los equipos empleados y personal que lo ha realizado.

Trabajos de laboratorio, describiendo los procedimientos de ensayo empleados, los tipos de muestras analizadas y la cantidad de ensayos de cada tipo.

Descripción de las condiciones geológico-geotécnicas del terreno. Esta descripción debe ser realizada con ayuda de mapas, planos, perfiles geotécnicos, fotografías y esquemas o dibujos suficientes para la clara exposición de todos los detalles de interés.

Características geotécnicas del terreno. Hecha la clasificación de los distintos materiales reconocidos se describirán, para cada uno de ellos, las características geotécnicas que se deducen de los ensayos de laboratorio y de los ensayos “in situ”. En términos generales, se tratará de establecer las causas de variación de los distintos parámetros mediante gráficos, figuras y correlaciones. Son de particular interés los diagramas de variación de los distintos parámetros en profundidad.

Si tras la consideración de toda la información disponible resultasen aspectos dudosos inadmisibles se deberá ampliar los reconocimientos y revisar el informe Geotécnico o editar el complemento necesario

#### **b. Selección del tipo de Pilote**

En ocasiones, la cimentación directa (zapatas superficiales o losas) no es conveniente. La presencia de espesores grandes de suelos blandos próximos a la superficie es una de las razones principales para proyectar una cimentación profunda, pero, además existen otros motivos que pueden hacerla más recomendable.

Una vez decidida, se procede, una cimentación profunda conviene elegir el tipo de pilote más conveniente.

Deben contemplarse las dos soluciones posibles:

Pilotes hincados

Pilotes perforados.

Conviene decir que los pilotes perforados se pueden ejecutar casi siempre y que los pilotes

hincados pueden ser difíciles de ejecutar cuando se han de atravesar zonas duras o con bolos o

gravas gruesas ocasionales. Normalmente son las razones de precio y plazo las que ayudan a decidir el tipo de pilotaje. Los pilotes hincados en edificación suelen ser de concreto armado, aunque también pueden ser de madera, de acero o mixtos (concreto y acero). En ocasiones, cuando las condiciones de ejecución son difíciles, se pueden recurrir a cimentar sobre micropilotes

### c. **Determinación de dimensiones del pilote**

Para dimensionar el pilotaje ha de partirse de las acciones que han de soportar la cimentación, después conviene lo siguiente:

Calcular las cargas que ha de soportar cada pilote

Comprobar que dicha carga no sobrepasa ninguno de los tres valores siguientes:

La carga de hundimiento convenientemente reducida con un coeficiente de seguridad

El tope estructural

La capacidad mecánica de pilote.

### **Carga de hundimiento**

La resistencia al hundimiento de un pilote se considerará, por simplificar el tratamiento, dividida en dos partes: la contribución de la punta y la contribución del fuste (**Ver Figura N°**

**01**). De esa manera se podrá escribir:

$$Q_h + W = Q_p + Q_f$$

$Q_h$  = Carga vertical que, aplicada en la cabeza del pilote, produce su hundimiento.

$W$  = Peso del pilote.

$Q_p$  = Parte de la carga que se supone soportada por la punta.

$Q_f$  = Parte de la carga que se supone soportada por el contacto

pilote- terreno en el fuste.

A su vez, se suele suponer que ambas componentes de la resistencia son proporcionales a las áreas de contacto respectivas. Esto es:

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$Q_f = \int \tau_f \cdot C \cdot dz$$

donde:

$Q_p$  = Resistencia unitaria por la punta

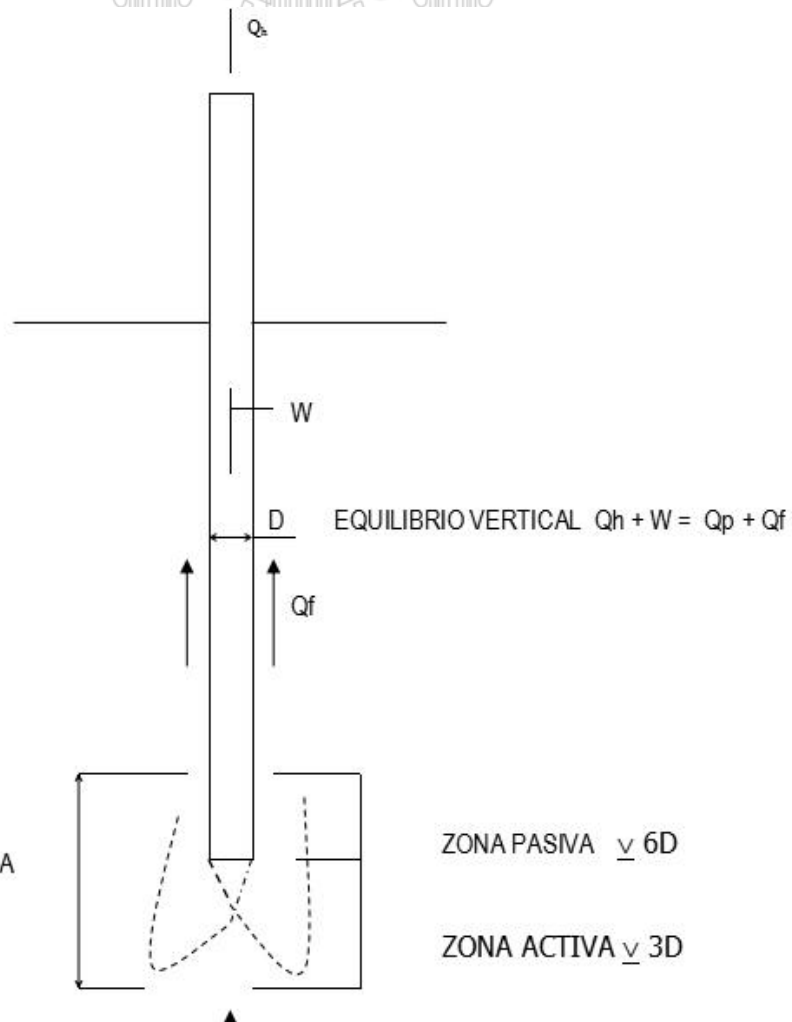
$A_p$  = Área de la punta

$T_f$  = Resistencia unitaria por el fuste

$L$  = Longitud del pilote dentro del terreno

$C$  = Perímetro de la sección transversal del pilote

$Z$  = Profundidad contada desde la superficie del terreno



## FIGURA N° 01

Esquema de hundimiento de un pilote aislado

### Método basado en el SPT

El método de evaluación de la seguridad frente al hundimiento de pilotes basado en el SPT es adecuado para suelos granulares que no tengan gran proporción de gravas gruesas que puedan desvirtuar el resultado del ensayo y se puede aplicar tanto a pilotes hincados como a perforados.

Según la experiencia actual, la resistencia por punta se puede evaluar, para pilotes hincados, con la expresión:

$$q_p = 0.4 N \text{ (Mpa)}$$

donde:

N = Valor medio del índice N del SPT. A estos efectos se obtendrá la media en la zona activa inferior y la media en la zona pasiva superior.

El valor de N a utilizar será la media de las dos anteriores.

Del mismo modo, la resistencia por fuste en un determinado nivel dentro del terreno, para un pilote hincado, puede considerarse igual a:

$$\tau_f = 2.5 N \text{ (kPa)}$$

En este caso, N es el valor del índice SPT al nivel considerado.

#### **d. Instrucciones para la ejecución y las curvas de hinca**

Decidido el tipo de pilote, su profundidad de hinca y después de haber comprobado que la seguridad es suficiente, conviene analizar el proceso de hinca y definir en el proyecto, las instrucciones que han de regir durante la ejecución del pilotaje.

Se define como “curva de hinca” a la expresión gráfica de la relación que existe entre la resistencia de la hinca y el “rechazo”. Como “rechazo” se debe entender la del avance de la hinca o penetración del pilote debido a un golpe de maza. En obras de edificación es frecuente controlar el número de golpes de maza necesario para avanzar 20 cm ( $N_{20}$ ). Es evidente que el rechazo (s) es:

$$S \text{ (cm)} = 20/N_{20}$$

Las curvas de hinca pueden prepararse en la fase de proyecto mediante el uso de alguno de los siguientes procedimientos:

Fórmula de Hiley

Ecuación de la onda

#### **Procedimiento de control**

El proyecto del pilotaje debe especificar el procedimiento de control de ejecución correspondiente. En lo referente al control del avance de la hinca, aparte de las prescripciones de buena práctica de las que se habla en otras ponencias de esta jornada, conviene observar el rechazo, al menos en la parte final de la hinca. En obras de importancia puede ser interesante, además, realizar un control electrónico de la hinca donde se miden fuerzas de impacto y velocidades del movimiento que permiten estimar la resistencia al avance del pilote, la eficacia del sistema de hinca y la integridad del pilote.

En algunas ocasiones puede ser interesante realizar pruebas de carga sobre pilotes ya contruidos para precisar la capacidad de carga realmente conseguida.

### Requisitos de Seguridad

El proyecto debe definir los equipos de hinca, las curvas de hinca correspondientes, el procedimiento de control de la hinca y finalmente los criterios de aceptación.

Se propone que, como criterio de aceptación, se establezca que el coeficiente de seguridad, definido como relación entre la carga de hundimiento que se obtiene de la curva de hinca y la carga representativa del pilote sea el que se indica:

#### Coeficientes de seguridad a comprobar durante la construcción

Procedimiento de análisis utilizado en la estimación de la carga de hundimiento	Coeficiente de seguridad frente al hundimiento
Con control del avance y aplicación de la fórmula de Hiley	$(6 - s) \odot 3$
Con control de avance y aplicación de la ecuación de la onda	$(5 - s) \odot 2.5$
Con control electrónico de la hinca	2
Con control electrónico de la hinca y contraste con pruebas de carga	1.7

s = avance por golpe al final de la hinca, expresado en milímetros.

## **2.3 Hipótesis**

### **2.3.1 Hipótesis general**

El uso de la propuesta tecnológica para cimentaciones con pilotaje en edificaciones tanto de vivienda como de servicios, permite disminuir los riesgos por causa de asentamientos que posteriormente conllevan a la presentación de fisuras y eventualmente el colapso de las estructuras.

### **2.3.2 Hipótesis Secundarias**

- a. El adecuado análisis del estado de las cimentaciones de las edificaciones que permitirá tomar acción para la mejora de cimentaciones en diseño y control.
- b. El desarrollo de una guía para diseñar pilotes servirá de base teórica a los profesionales involucrados en la cimentación de pilotes.
- c. Validación por expertos con la utilización de procedimientos modernos, fortalecerá la propuesta técnica de los mismos para su correcta implementación.

### 2.3.3 Variables

#### a. Independiente

Tecnología para cimentaciones por pilotaje en proyectos de ingeniería civil.

#### e. Dependiente

Comportamiento de las edificaciones:

Asentamientos

Fallas estructurales

Grietas

Calidad estructural en la edificación

## CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Tipo de investigación

Se tomará en cuenta los grandes y rápidos avances logrados en cimentaciones profundas, recogidos de acuerdo a la bibliografía mencionada, así como de la experiencia profesional, las cuales en su conjunto sirven como referente básico del marco teórico. Es pertinente manifestar que los estudios descriptivos dan como resultado un diagnóstico por eso es importante requerir de altos niveles de conocimiento del tema en cuestión.

Según Tamayo y Tamayo (1999), los estudios descriptivos miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones y componentes de fenómenos a investigar, trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga.

También, Arias F. (1999), determina que las investigaciones del tipo descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento.

Del mismo modo, Sabino C. (1999), manifiesta que las investigaciones descriptivas son “.....aquellas cuyo objetivo principal es describir características fundamentales de los fenómenos utilizando criterios sistemáticos para destacar los elementos esenciales de la naturaleza”.

Así mismo, Bavaresco A. (2001), expresa que las investigaciones descriptivas van a la búsqueda de aquellos aspectos que se desean conocer y de los que se pretende obtener respuesta.

Este trabajo consiste en dar una solución posible a un problema práctico, que tiene como objeto satisfacer necesidades específicas. En el presente trabajo de investigación se debió discernir en las diferentes fuentes bibliográficas recolectadas con el objeto de analizar el diseño de cimentaciones profundas (pilotes) y las distintas características, condiciones y parámetros necesarios para cumplir con los objetivos específicos planteados. Estos tipos de estudios miden, evalúan, dimensionan y caracterizan los elementos del fenómeno o conjunto a estudiar.

Concretando, la investigación es de carácter descriptiva, exploratoria, retrospectiva y correlacional.

Descriptivo, debido a que su propósito es determinar los parámetros técnicos que inciden en la aplicación de tecnologías de pilotaje modernas.

Exploratoria y, debido a que detalla el estado del arte que ayuda a entender mejor el uso de pilotes en diferentes tipos de suelos.

Retrospectivo, debido a que se usaran propuesta de pilotes con un uso práctico, ya que han sido probadas en su eficiencia e implementación.

Es correlacional por que la investigación está orientada a mostrar la relación en la aplicación de estas técnicas modernas en los procesos actuales con el fin de que esta contribuya de forma eficiente a resolver problemas de cimentación.

La investigación se desarrolló teniendo en cuenta las siguientes fases:

**a. Recopilación de información**

- ✓ Revisando y consultando la información en la web, bibliotecas de temas afines a la investigación, profesionales expertos en geotecnia y en especial en cimentaciones profundas, empresas dedicadas en el rubro, resultados de laboratorios, exposiciones y conferencias publicadas.
- ✓ Realizando entrevistas a los agentes directamente involucrados en el tema de cimentaciones por pilotaje y sin pilotaje.

**b. Formulación y Ordenamiento de la información**

- ✓ Cuando se tuvo la información requerida se procedió a ordenar los datos.
- ✓ La presentación de la investigación y/o guía es un esquema formado de la tecnología de diseño, control entre otras características.
- ✓ En lo referente al análisis e interpretación de los datos. Una vez que se obtuvo la información se comparó resultados para determinar la confiabilidad de estos.

**3.2 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es No Experimental y Transversal (Hernandez, Fernandez y Bapista, 2010)

**3.3 Nivel de la investigación**

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

El diseño es correlacional, se constituye la muestra de cuatro tipos de cimentaciones profundas por pilotaje para diversos tipos de edificaciones a los cuales se les realiza un análisis de comportamiento y se le contrastara con niveles de estabilidad.

**CP (P)** ----- **EE**

Donde:

CP (P) = Cimentación profunda por pilotaje

EE = Estabilidad de la edificación

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

Tratándose de procesos de ingeniería complejos y todavía de poca demanda en nuestro país, nuestra población no está definida, por cuanto es impreciso cuantificar cuantos proyectos están utilizando cimentaciones por pilotaje. Sin embargo, se han identificado ciertos proyectos a los cuales se les inspeccionará, se entrevistará a los responsables tanto de su diseño como de su ejecución, con el fin de poder determinar la estabilidad de las distintas edificaciones.

Unidad de análisis

Proceso constructivo

Unidad de observación

Proyectos de cimentaciones profundas en el Perú

- ✓ Criterios de inclusión
  - Edificaciones concluidas
- ✓ Criterios de exclusión

### **3.4.2 Muestra**

Tratándose de procesos de ingeniería complejos y todavía de poca demanda en nuestro país, nuestra muestra está definida, cuantificando los proyectos que han utilizado cimentaciones por pilotaje.

#### **Calculo de la muestra**

Nuestra muestra está limitada y centrada en cinco (05) proyectos totalmente identificados que han utilizado cimentaciones profundas por pilotaje, en diversos tipos de suelos, los cuales como ejemplos prácticos ayudarán a definir recomendaciones y conclusiones de la aplicación y difusión de esta tecnología desarrollada.

#### **Técnicas de muestro**

El tipo de muestreo fue no aleatorio, por cuanto, se encuentran plenamente identificados los proyectos tratados y desarrollados.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de la investigación**

#### **3.5.1 Técnicas**

Los instrumentos de recolección de datos se administraron de forma directa observándose las edificaciones y preguntando a los responsables del diseño y de la ejecución de obra sobre la información técnica, la cual servirá para comprobar el comportamiento de dichas cimentaciones.

#### **3.5.2 Instrumentos**

Se aplicará como instrumento, los procedimientos de cálculo conocidos para la aplicación de esta técnica, con la correcta interacción suelo - edificación que asegure la estabilidad requerida.

### **3.6 Validación y confiabilidad del instrumento.**

El presente trabajo tendrá de base la técnica de validación igual o similar a la denominada juicio de expertos (crítica de jueces), la que, a través de teorías y pruebas de resultados, desarrolladas por estos especialistas en el área de ingeniería civil, los cuales estén laborando e investigando el tema y tengan el grado de maestro o doctor, dará con grado de confiabilidad certero la validación indicada.

De este intercambio de ideas, se plasmarán las conclusiones y recomendaciones.

## **IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1 Análisis**

Presento el cálculo y sus resultados de comportamiento de los pilotes, según teorías y practicas desarrolladas por expertos, según clasificación por material estructural y por procedimiento constructivo, según lo siguiente:

#### **4.1.1 Pilote de concreto armado, prefabricado e hincado**

Caso: Cimentación caldero distral

#### **4.1.2 Pilote de concreto armado, excavado y vacado “in situ”**

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

Caso: Puente Eten

#### 4.1.3 Pilote de madera, tratado e hincado

Caso: Torres de comunicaciones en selva baja

#### 4.1.4 Pilote metálico, pintado e hincado

Caso: Muelle marítimo

#### 4.1.5 Pilote de concreto armado, prefabricado e hincado

Caso: Edificio de Oficinas

### 4.1.1 PILOTE DE CONCRETO ARMADO, PREFABRICADO E HINCADO

#### a. Problema técnico a tratar

Se trata de la platea de cimentación apoyada en pilotes para una edificación de servicios.

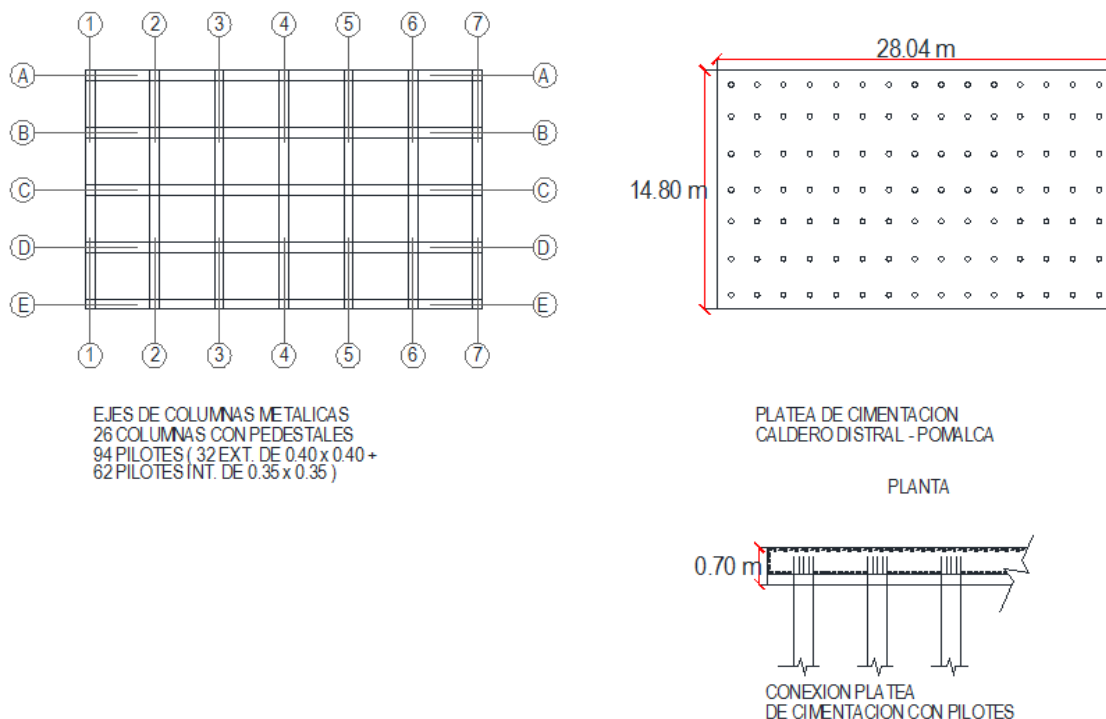
En este caso la cimentación de un caldero distral con capacidad de 220,000 libras de vapor/hora, con esta energía se podría moler 200 toneladas/hora de caña de azúcar y generar 15 MW, sabiendo que se produce vapor a 485 libras/pulgada<sup>2</sup> a 788°F; caldero que reemplazará a 5 calderos más pequeños existentes, para mejora continua de la producción industrial.

#### b. Detalles técnicos a considerar

✓ La súper-estructura tiene un peso de 2,000 toneladas y la cimentación 1,220 toneladas, resultado de considerar lo siguiente:

- Base general = 293 m<sup>3</sup>
- Base de chimenea = 45 m<sup>3</sup>
- Base de ventiladores = 60 m<sup>3</sup>
- Vigas de cimentación = 94 m<sup>3</sup>
- Pedestales de columnas = 2.70 m<sup>3</sup>
- Piso de 0.30m. de espesor = 17.20 m<sup>3</sup>
- La platea de cimentación es de 14.80 m. x 28.04 m. y 0.70 m. de espesor, además tiene vigas de cimentación, según Figura N° 01.

- ✓ El proyecto considera 94 pilotes de 35 Tm. de carga axial cada uno.
- ✓ El sistema de construcción es por hincada directa, utilizando un Martillo para impacto directo.
- ✓ Para el cálculo respectivo, se consulta “Mecánica de Suelos aplicada”, 1991, del Ing. Civil Roberto Michelena Cárdenas, UNI.



**FIGURA N° 01**  
**PLATEA DE CIMENTACIÓN**  
**CALDERO DISTRAL**

**c. Consideraciones del suelo**

**c.1 Estudio de Mecánica de Suelos (EMS)**

- ✓ Para el caso, se realizó el EMS en la ciudad de Chiclayo, Región de Lambayeque, Distrito de POMALCA, en la Fábrica de Azúcar, donde se hicieron perforaciones de profundidad de 16m.
- ✓ Para el EMS se ha empleado el ensayo denominado SPT (Ensayo de Penetración Estándar), según (ASTM D-1586):
- ✓ Para el EMS se ha empleado lo siguiente:

- + Martillo de 140 libras (63.50kg) de peso, que cae libremente desde 30" (76 cm)
- + Se registra el número de golpes necesario para que el penetrómetro (muestreador de caña partida) ingrese 3 tramos de 15 cm en el terreno.
- + A la suma de los golpes de los 2 últimos tramos se le denomina "N" que es parte del resultado del ensayo; además con las muestras se obtiene su identificación y otros resultados de laboratorio.
- + Los resultados de la prueba de penetración pueden correlacionarse, para la aplicación de diversas fórmulas.

**c.2 Perfil Estratigráfico**



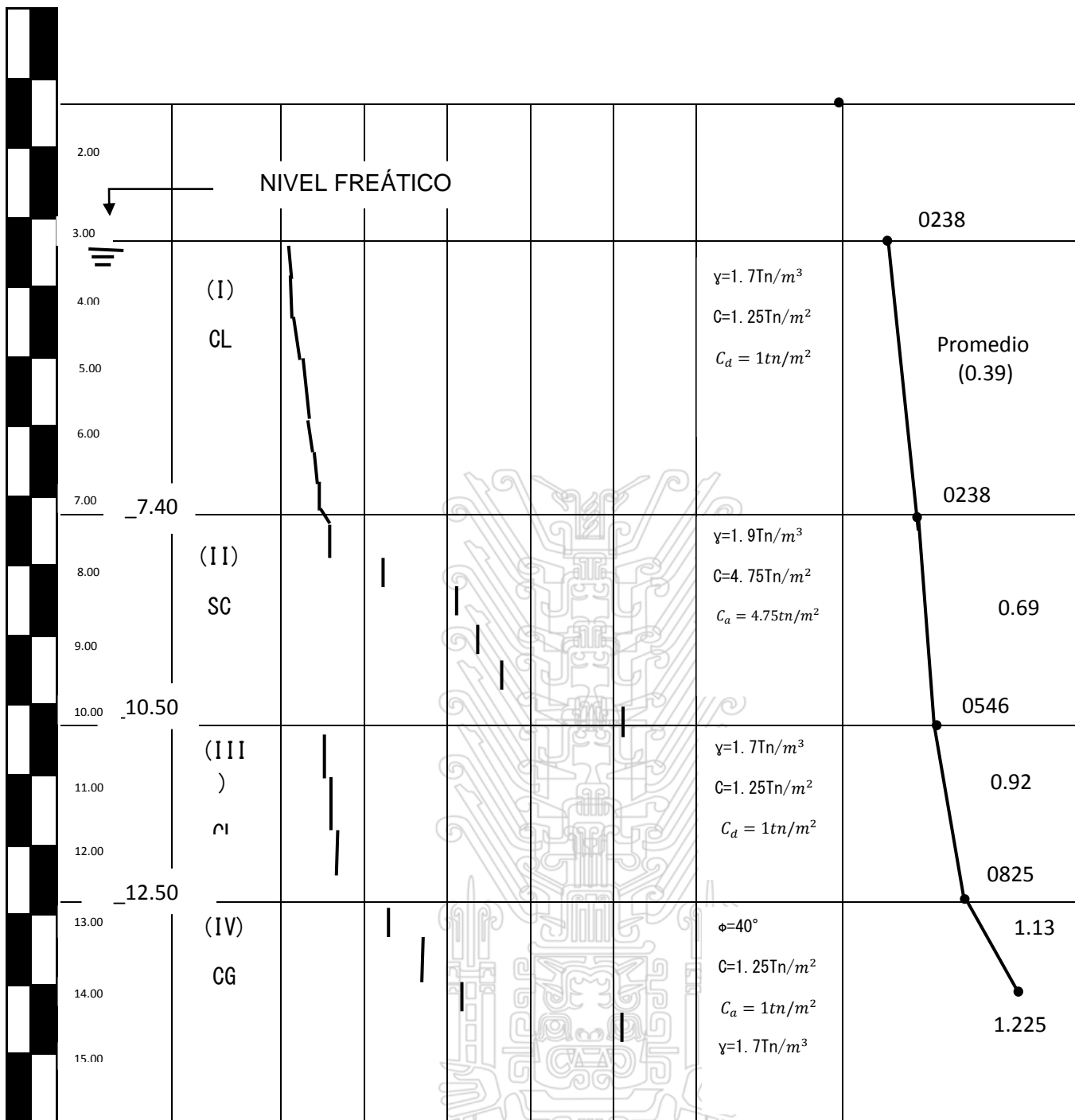


FIGURA N° 02

### c.3 Observaciones en el perfil estratigráfico

En cada Estrato, se indica la siguiente información:

- Clasificación del suelo.
- Valores de N.
- Peso volumétrico.
- Cohesión.

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

UNFV

- Adherencia.
- Esfuerzo efectivo.

#### **c.4 Definición de Estratos**

- ✓ El Estrato I, es un terreno blando, con potencial de licuación (los primeros 3m no se consideran para resistencia a fricción lateral).

El estrato licuable da la posibilidad que el pilote trabaje en voladizo.

- El Estrato III. es un terreno blando, lo que obliga a llegar al Estrato IV;
- ✓ En las perforaciones se ha detectado que a -10m. se presenta el estrato blando de 2 m de espesor.

#### **d. Prueba de hinca**

En nuestro país es necesario fabricar pilotes de prueba, antes de fabricar la totalidad de pilotes señalados en el proyecto. Las faltas de plantas de formas de concreto hacen que los constructores fabriquen a pie de obra sus propios pilotes, tanto para la prueba de hinca como para los necesarios según demanda del proyecto. Evidentemente, esto trae una demora, al tener que preparar los de prueba y según el resultado, preparar luego la totalidad demandada. Para realizar la prueba de hinca, se utilizará un Martillo DELMAG, modelo D-12

##### **d.1 Consideraciones para la hinca**

- Se realizó con un pilote de concreto armado de sección transversal 30 cm. x 30 cm. y de 12m. de longitud. Utilizando para la hinca, un martillo DELMAG D-12, según la Figura N° 3:

## DELMAG D12-42

Martillo Diésel para Hincado de Pilotes

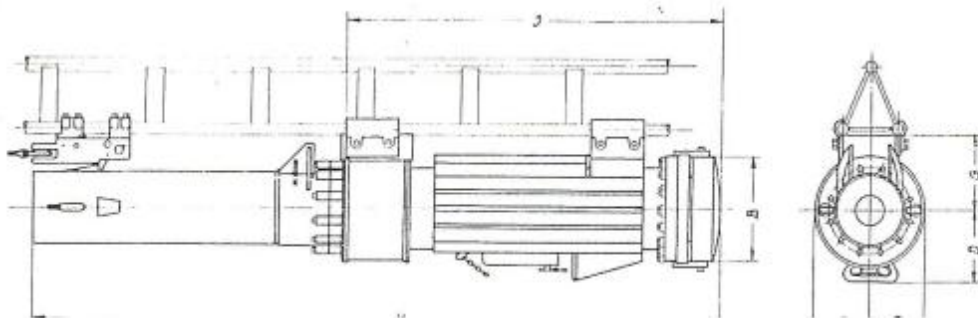


<b>Información Técnica</b>		
Peso del Pistón al Impacto	Kg	1,280
	Lbs	2,820
Energía por golpe (máx-mín)	KN-m	46 - 20
	Lbs-ft	33,930 - 14,750
Número de golpes	1/min	35 - 52
<b>Consumo</b>		
Diésel	L/h	4.5
	Gal/h	1
Lubricante	L/h	0.5
	Gal/h	0.11
<b>Capacidad del Tanque</b>		
Diésel	L	25
	Gal	6.6
Lubricante	L	6.5
	Gal	1.7
<b>Peso</b>		
Martillo para Hincado	Kg	2,735
	Lbs	6,030

### FIGURA N° 03

#### MARTILLO DELMAG D-12

- Sin embargo, a la hora de ejecutar la prueba de hinca, utilizando el Martillo D-12, se vio la necesidad de utilizar un Martillo de mayor capacidad; para lo cual se utilizó un Martillo D-22. A continuación, se muestra la relación de rendimientos de los Martillos DELMAG, desde el D-5 hasta el D-22, según la Figura N° 04:



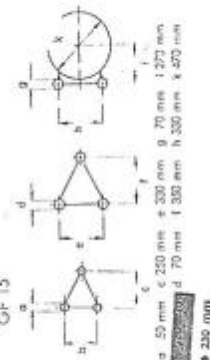
Medidas en mm.

**D 5 D 12 D 22:**

kg	500	1250	2200
A	3416	3845	3921
B	320	460	480
C	1655	2085	2115
D	260	299	365
E	175	240	300
F	210	240	313
	con	con	con
	GF 10	GF 15	GF 22
	G 11	G 17	G 112
	GF 15	GF 22	
G	250	300	396
"h"	2500	2500	2500

El "h" fue determinado mediante pruebas de comparación con martillos de caída libre ejecutados por el Materialprüfungsanstalt der Techn. Hochschule Stuttgart (Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela Superior Técnica) Taller E4D-D-15. Así se obtuvo como altura de caída "h" de la maza, e introducir en la fórmula de hinc, 2500 mm, es decir que la potencia de golpe del martillo Diesel S2 equivale a la de un martillo de caída libre de mismo peso, pero con una altura de caída de 2500 mm.

GF 10  
G 11  
GF 15  
G 17  
GF 22  
G 112



a 50 mm e 250 mm f 300 mm g 70 mm i 270 mm  
d 70 mm h 300 mm k 300 mm l 470 mm  
b 230 mm

**DATOS TECNICOS**

Con reservas a modificaciones.

**D 5 D 12 D 22**

Peso de maza (piston)	kg	500	1250	2200
Peso total del martillo con accesorios kg		1337	3086	4878
Peso del martillo en funcionamiento sin dispositivo de frenado kg		1050	2400	4430
Peso del dispositivo de frenado kg		39	68	130
Peso del chasis de transporte kg		148	294	170
Peso del capotón de percusión kg		266	342	520
Golpes por minuto		42-60	42-60	42-60
Trabajo por golpe	mkg	1250	3120	5500
Presión de explosión sobre el pistón (max.)	kg	21000	42500	72000
Consumo de combustible por hora de trabajo continuo	lit/hora	5	8	13
Consumo de aceite	lit/hora	0,5	0,75	1,5
Capacidad del tanque	lit.	11,5	15,5	38,5
Capacidad de la cámara de aceite	lit.	2	3	7

Lubrificante para pistón, aceite para motores SAE 40-50  
Lubrificante para la pieza de percusión, aceite extra pesado para cilindros sobrecalentados

Almacenes DELMAG utilizables:

GF 10	GF 15	GF 22
G 11	G 17	G 112
GF 15	GF 22	
G 17	G 112	
GF 22		

FIGURA N° 04

**MARTILLOS DELMAG: D-5, D-12 y D-22**

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis



✓ En formato, se adjunta el record de hinca, según lo siguiente,

- Figura N° 05.a, de 0.00 m. hasta 2.50 m.:

N°	PROYECTO: CALDERO DISTRAL								REGION LAMBAYEQUE		
									LUGAR POMALCA		
	RECORD DE CLAVADO PILOTE DE PRUEBA								ELA. B.	REV. -	APRO. B.
N° golpes por 10 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 10 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 10 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 10 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 10 cm.	Pilote N°. PRUEBA		
	00		20	12	40	6	60				
	10		30	12	50	6	70				
	20		40	12	60	6	80				
	30		50	12	70	6	90				
	1.40		60	12	80	8	11.00				
	50		70	12	90	8	10				
	60		80	14	8.00	9	20				
	70		90	13	10	9	30				
	80		5.00	16	20	10	40				
	90		10	15	30	8	50				
	2.00		20	18	40	8	60				
	10		30	16	50	10	70				
	20		40	23	60	12	80				
	30		50	19	70	22	90				
	40		60	21	80	22	12.00				
	50		70	25	90	28	10		Martillo D - 12		

- Figura N° 05.b, de 2.60 m. hasta 4.10 m.



N°	PROYECTO: CALDERO DISTRAL								REGION LAMBAYEQUE		
	RECORD DE CLAVADO PILOTE DE PRUEBA								LLUGAR POMALCA		
									ELAB.	REV.	APROB.
N° golpes por 20 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 20 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 20 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 20 cm.	Penetración cm.	N° golpes por 20 cm.	Pilote N°. PRUEBA		
	60		80	29	9.00	28	20				
	70		90	39	10	32	30				
	80		6.00	72	20	36	40				
	90		10	118	30	38	50				
	3.00		20	92	40	38	60				
	10		30	85	50	42	70				
	20		40	80	60	50	80				
	30		50	75	70	50	90				
	40		60	64	80		13.00				
	50		70	39	90		10				
	60		80	22	10.00		20				
	70		90	13	10		30				
	80		7.00	8	20		40				
	90		10	8	30		50				
	4.00		20	6	40		60				
	10		30	6	50		70				
EXC Excavación - P.P.: Peso propio pilote - P + M: Pilote + Martillo											
Observaciones SE USO SUPLEX EN EL ULTIMO METRO									Longitud 12 m		

FIGURA N° 05 – b

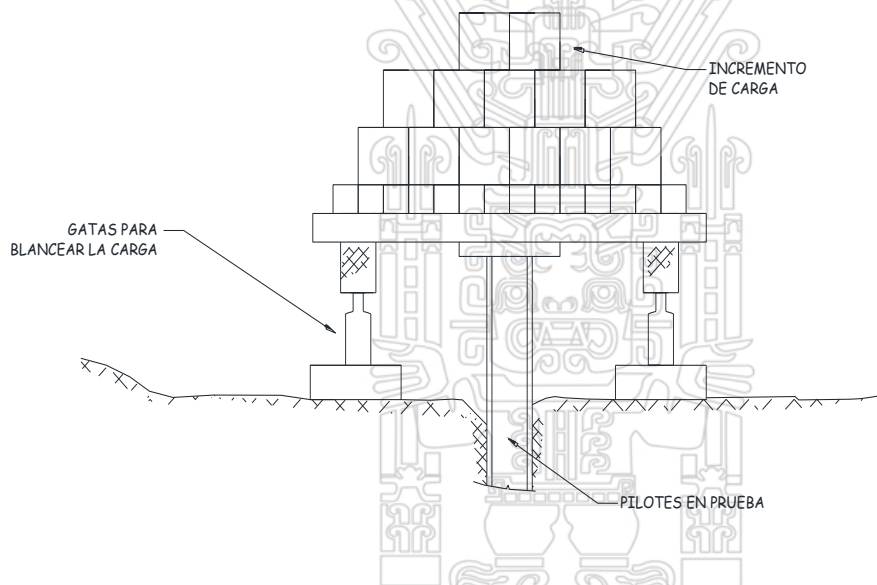
Tesis publicada con autorización del autor  
**RECORD DE HINCA**  
 No olvide citar esta tesis



- ✓ Para los primeros 4m. de hinca, bastó el peso del pilote; luego para atravesar el estrato resistente se llegó hasta 118 golpes/10 cm., para entrar nuevamente a un estrato flojo y lograr recién el estrato de empotramiento a -12 m.; luego habrá que empotrar por lo menos 1.50m.
- ✓ Con esta prueba de hinca, se determinó la longitud de fabricación de los pilotes, definiéndolos en  $L=13.50$  m.

#### d.2 Prueba de carga axial-asentamiento

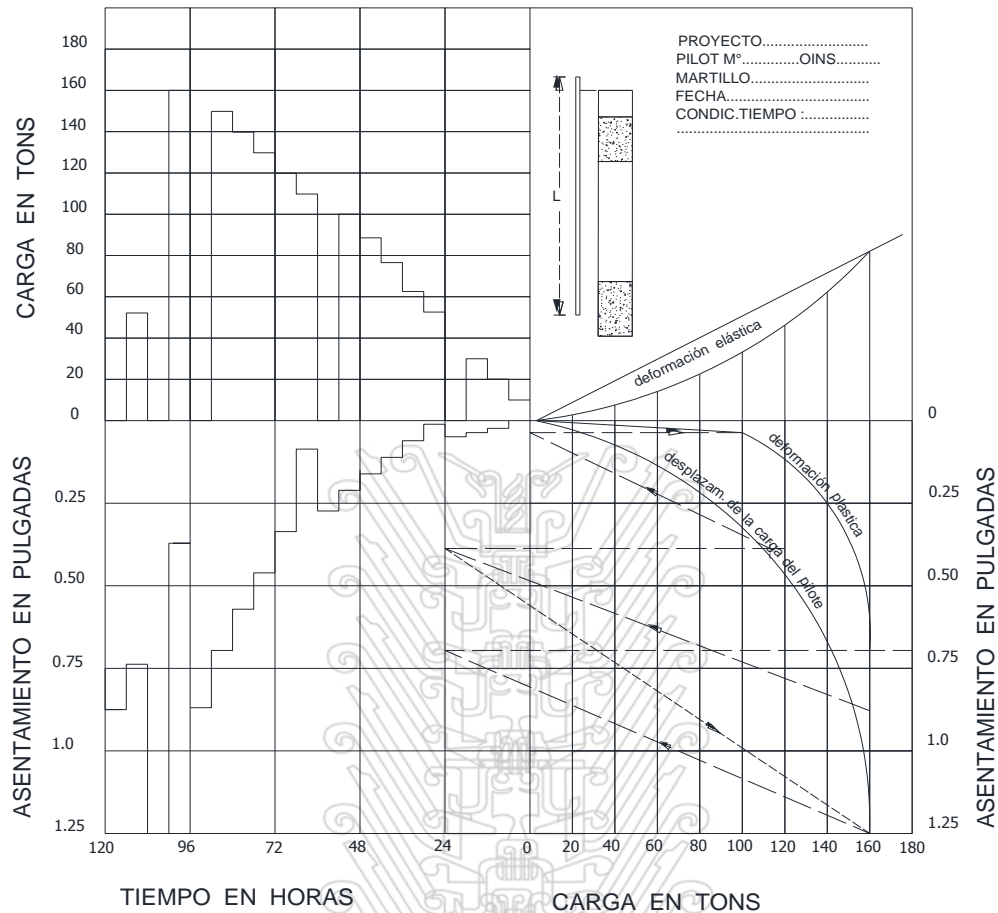
- Según ASTM D1143-61T, aplicando hasta 100 Toneladas, para lo cual se hizo una plataforma de 160 Toneladas y poder aplicar la gata hidráulica.
- El resultado obtenido fue aceptable.



**FIGURA N° 06**

#### **PRUEBA DE CARGA EN PILOTES**

- ✓ Existe una serie de pruebas sobre pilotes que se realizan con variados fines siguiendo diferentes métodos y especificaciones.
- Se clavan pilotes de prueba para determinar las condiciones del clavado y las

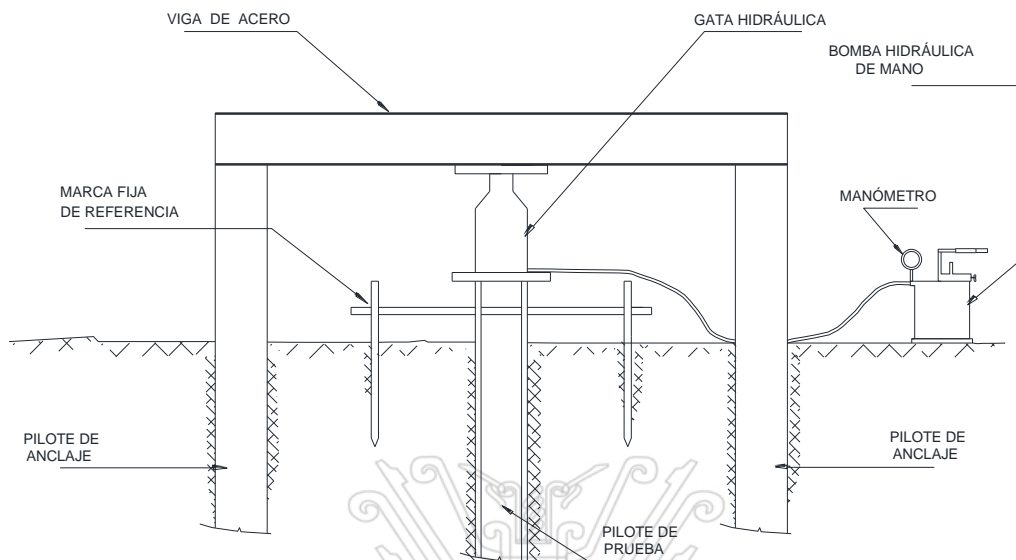


**FIGURA N° 07**

**CARGAS, ASENTAMIENTOS Y TIEMPOS**

**PRUEBA DE CARGA EN PILOTES**

- Se aplican cargas axiales para comprobar su capacidad portante. Las cargas se aplican directamente (figura N° 06) o por medio de dispositivos hidráulicos usando brazos de palanca u otros pilotes como anclajes, (Figura N° 08) Controlando las cargas, asentamientos y tiempos con instrumentos adecuados y sumando esto a un muestreo del terreno y la curva de deformación elástica del pilote, se llega a diagramas como el de la Figura N° 07, del cual se deduce la curva de deformación plástica que es básica para determinar la carga de trabajo



**FIGURA N° 08**  
**APLICANDO GATA HIDRÁULICA**  
**PRUEBA DE CARGA EN PILOTES**

- ✓ Pruebas semejantes se realizan aplicando cargas axiales de tracción.
- ✓ Las normas más usuales en nuestro medio son las ASTM (American Society of Testing Materials) de la cual usamos la norma D1143 – 61T.

#### **d.3 Prueba de carga lateral**

- Se encontró deformación admisible hasta 1.50 Tm. de carga horizontal.
- ✓ Se vio la necesidad de ampliar la sección transversal que sumada al efecto de anclaje a la platea de cimentación llega a satisfacer la carga última horizontal.

#### **d.4 Resultados de la prueba de hincado**

- ✓ Se confirmó fabricar 62 pilotes de 0.35 m. x 0.35 m de sección transversal y de 13.50 m de longitud, para las zonas centrales.

- ✓ Además, 32 pilotes de 0.40 m. x0.40 m. de sección transversal y de 13.50 m de longitud, para las zonas perimetrales. (El momento en las zonas perimetrales es algo mayor que en el centro de la cimentación)

**e. Definición del valor de la resistencia del concreto para los pilotes**

- ✓ Considerando utilizar concreto de  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$
- ✓ Es necesario vigilar el hincado para evitar daños estructurales al pilote.
- ✓ Para conocer los esfuerzos de hincado, se calcula la fuerza que trasmite el pilote aplicando la fórmula dinámica, luego dicha fuerza se compara con la resistencia estructural de la sección transversal, debiendo mantenerse un coeficiente de seguridad apropiado.
- ✓ Si hacemos rechazo,  $s = 0 \text{ mm.}$ , ósea 0 cm. en 10 golpes, quiere decir que el martillo rebota sobre el pilote sin hacerlo penetrar. Esto supone una carga máxima sobre el pilote que por descuido puede producirse.

**e.1 Comprobación, según fórmula para martillo DELMAG, Figura N° 9**

**W = E x R / (c x L + s) (R + Q), donde:**

E	=	Energía por golpe	= 5,500 kg-
m			
R	=	Peso de la masa	= 2,200 kg
Long.	=	Longitud del pilote	= 13.50 m.
Q	=	Peso del pilote de 0.35x 0.35x13.50x2.4	= 3,969 kg.
c	=	Factor de elasticidad del pilote	= 0.3mm/m
s	=	Penetración media por golpe en los últimos 10 golpes	= 0 mm

La capacidad de carga de pilotes hincados con martillos Diesel DELMAG, se calcula utilizando la fórmula.

$$W = \frac{E.R.}{(c.L+s)R+Q}$$

W= Capacidad de carga final en Ton. (sin contar la fricción)

E= Energía por golpe (en Kg) Martinete Diesel utilizado.

R= Peso del impacto.

c= Factor de elasticidad del pilote y suelo en mm para un metro de longitud de pilote. 0.6 madera 0.3 acero y hormigón.

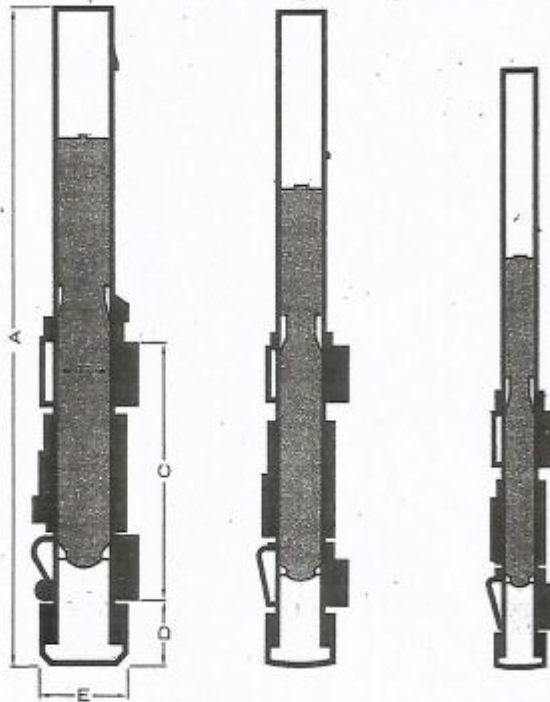
L= Longitud del perfil a hincar (m)

s= Penetración media permanente por golpe, durante los diez últimos golpes (mm)

Q= Peso del perfil a hincar (Kg)

Para obtener una cifra conservadora de carga puede aplicarse un coeficiente de seguridad de 2 a 3 (no incluido en la fórmula). Los valores de E, R y c pueden obtenerse de la tabla. Los de L, s y Q se obtienen en obra. Los valores que para c en la tabla son empíricos y deben comprobarse con las lecturas de penetración real en los últimos 10 golpes.

## Como calcular la capacidad de carga de pilotes



### D30

A = 4320 mm (14'2 1/4")  
B =  $\phi$  390 mm (15 3/4")  
C = 1710 mm (5'7 3/4")  
D = 440 mm (17 3/8")  
E =  $\phi$  580 mm (22 7/8")

### D12

A = 4245 mm (13'11")  
B =  $\phi$  300 mm (11 13/16")  
C = 1750 mm (5'8 1/2")  
D = 350 mm (13 3/4")  
E =  $\phi$  460 mm (18 1/8")

### D5

A = 3816 mm (12'6")  
B =  $\phi$  210 mm (8 3/8")  
C = 1415 mm (4'7 1/4")  
D = 270 mm (10 5/8")  
E =  $\phi$  320 mm (12 5/8")

ESPECIFICACIONES	D30	D12	D5
R Peso del pistón	approx. 3,000 kg (6,600 lbs.)	1,250 kg (2,750 lbs.)	500 kg (1,100 lbs.)
Energía/golpe	3,300-7,500 mkg (23,870-54,200 ft.lbs.)	3,125 mkg (22,610 ft.lbs.)	1,250 mkg (9,050 ft.lbs.)
No. de golpes/min.	39-60	42-60	42-60
Max. presión sobre el pilote	110,000 kg (242,000 lbs.)	42,500 kg (93,500 lbs.)	21,000 kg (46,200 lbs.)
Inclinación del pilote hasta	1:1 (45°) with cylinder intermediate section	1:1 (45°)	1:1 (45°)
consumo de combust. por hora	11 l (2.42 imp. gals.) (2.9 U.S.gals.)	6.61 (1.45 imp. gals.) (1.75 U.S.gals.)	3.51 (0.77 imp. gals.) (0.92 U.S.gals.)
consumo de cant. por hora	1.51 (0.33 imp.gals.) (0.4 U.S. gals.)	0.751 (0.165 imp. gals.) (0.2 U.S. gals.)	0.51 (0.11 imp. gals.) (0.13 U.S. gals.)
capacidad tanque combust.	38.51 (8.5 imp. gals.) (10.2 U.S. gals.)	15.51 (3.42 imp. gals.) (4.1 U.S. gals.)	11.51 (2.53 imp. gals.) (3.1 U.S. gals.)
capacidad tanque lubricante	71 (1.55 imp. gals.) (1.85 U.S. gals.)	31 (0.66 imp. gals.) (0.8 U.S. gals.)	21 (0.44 imp. gals.) (0.53 U.S. gals.)
<b>PESOS</b>			
peso total de operación	5,600 kg (12,320 lbs.)	2,750 kg (6,050 lbs.)	1,240 kg (2,730 lbs.)
Mordazas de guía - standar	70 kg (155 lbs.)	40 kg (88 lbs.)	20 kg (44 lbs.)
corredere.	250 kg (550 lbs.)	130kg (286 lbs.)	70 kg (155 lbs.)
Patín de transporte	305 kg (671 lbs.)	185 kg(407 lbs.)	122 kg (270 lbs.)
herramientas	90 kg (200 lbs.)	60 kg (132 lbs.)	60 kg (132 lbs.)
cabezal			

FIGURA N° 09

### CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

UNFV

## e.2 La resistencia estructural máxima de la columna

(Considerando fluencia del acero)

$$R = \text{Resistencia máxima} = 0.85 (A_c - A_s) f'_c + A_s \cdot f_y$$

Donde:

$$A_c = \text{Área de la sección de concreto } 35 \times 35 = 1,225 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \text{Área de la sección del acero (asumido)} = 31 \text{ cm}^2$$

$$f'_c = \text{Resistencia del concreto} = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = \text{Esfuerzo de fluencia del acero} = 4,200 \text{ kg/cm}^2$$

$$R = 0.85 (1225 - 31) 350 + 31 \times 4200 = 485 \text{ Tm.}$$

La resistencia del concreto de  $350 \text{ kg/cm}^2$ , puede resistir los esfuerzos máximos.

## e.3 Fricción negativa

- ✓ La existencia de un grueso estrato suave, con un espesor de 6.00 m., potencialmente licuable, obliga a considerar fricción negativa por consolidación del estrato.
- ✓ Para prevenir esta situación consideramos una carga adicional sobre el pilote, equivalente a 3.50 m. de suelo de influencia y cuyo peso es:

$$\text{Altura de suelo a considerar} = 3.50 \text{ m.}$$

$$\text{Área tributaria a considerar} = 1.20 \text{ m.} \times 1.20 \text{ m.}$$

$$\gamma = \text{Peso volumétrico del suelo} = 1.70 \text{ Tm/m}^3$$

$$P = 8.60 \text{ Tm.}$$

- ✓ Valor que debe ser agregado a la carga de trabajo vertical por efecto de la estructura.

#### e.4 Cargas horizontales

- ✓ El pilote básicamente está construido para soportar cargas verticales.
- ✓ Para el ejemplo que estamos analizando, suelo de Estrato I, flojo y licuable, las fuerzas laterales (eventualidad de sismo) son absorbidas por la resistencia del pilote a la flexión hasta sus límites permisibles, teniendo en cuenta la profundidad de empotramiento.

#### f. Diseño del pilote

##### f.1 Solicitación de cargas

- ✓ Para la carga última vertical

$$\text{Carga Vertical (con factor 1.4)} = 35 \text{ Tm} \times 1.4 = 49.00 \text{ Tm}$$

$$\text{Fricción negativa} = \underline{8.60 \text{ Tm.}}$$

$$\text{Total} = 57.60 \text{ Tm.}$$

- ✓ Momento último

$$\text{Carga de diseño horizontal} = 10 \% \text{ de } 35 \text{ Tm. (sismo)}$$

$$= 3.50 \text{ Tm.}$$

$$\text{Long. de empotramiento} = 3.20 \text{ m. (valor a verificar)}$$

$$= 19.04 \text{ T- m}$$

✓ Estos valores se usarán para el cálculo del acero del pilote.

## f.2 Capacidad de carga método estático de Manual NAVFAC 1972

Para Suelos Granulares: Para un pilote aislado embebido en suelos granular

$$qd = \sigma'_T N_q$$

$$S_s = K_{HC} \sigma'_o \text{tg} \delta$$

$$Q_{di} = \sigma'_o N_q A_P + S_s \Sigma K_{HC} \sigma'_o \text{tg} \delta A_L$$

$\sigma'_T$  = presión efectiva vertical a la profundidad de la punta de un pilote

(Ver nota 1)

$N_q$  = factor de capacidad de carga

$K_{HC}$  = coeficiente de empuje horizontal, igual a la relación entre los esfuerzos efectivos horizontal y vertical en un elemento en compresión adyacente al pilote

$\sigma'_o$  = presión efectiva vertical a la profundidad considerada (ver nota 1)

$\delta$  = ángulo de fricción pilote – suelo

Asimismo, la resistencia ultima en tracción esta dada por la expresión

$$T_{ult} = K_{HT} \sigma'_o \text{tg} \delta A_L$$

Donde:

$K_{HT}$  = Ídem a  $K_{HC}$ , pero para un elemento afectado por el efecto de acción del pilote

Nota 1: para la aplicación de la fórmula estática para pilotes de fricción en suelos granulares, se debe considerar que la presión efectiva vertical aumenta solo hasta una profundidad igual a 20 veces el ancho o diámetro del pilote, medida a profundidad donde se desarrolla la resistencia por fricción.

Los valores de  $N_q$ ,  $K_{HC}$ ,  $K_{HT}$  y  $\theta$  a utilizar en las expresiones presentadas líneas arriba se indican a continuación en el cuadro 4.4, transcrito del Manual de Diseño (NAVFAC, 1972) en función de las propiedades del suelo granular y del tipo de pilote

#### PARÁMETROS PARA FÓRMULA ESTÁTICA EN SUELOS GRANULARES

$\phi$ ( EN GRADOS)		28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Nq	A	15	21	24	29	35	42	50	62	77	96	120	145
	B <sup>2</sup>	8	10	12	14	17	21	25	30	38	48	60	72

A =

**pilotes de desplazamiento hincados**

**B = pilotes excavados o perforados**

Tipo de pilote	$K_{HC}$	$K_{HT}$
Hincado H	0.5-1.0	0.3-0.5
Hincado de desplazamiento	1.0-1.5	0.6-1.0
Hincado de desplazamiento Troncónico	1.5-2.0	1.0-1.3
Hincado y con inyección de agua	0.4-0.9	0.3-0.6
Perforado	0.7	0.4

Tipo de pilote	$\theta$
Acero	20°
Concreto	$3/4\phi'$
Madera	$3/4\phi'$

**Manual NAVFAC 1972**  
**SUELOS GRANULARES**

$$Q_{di} = \sigma'_t N_q \cdot A_p (\text{Resistencia por punta}) + \Sigma K_{HC} \cdot \sigma'_0 \cdot \text{tang } \Theta \cdot A_L (\text{Resistencia por fricción})$$

✓ Este pilote trabajará principalmente por punta al quedar empotrado en un estrato gramo-arcilloso.

✓ Cálculo de la capacidad de carga

$$\sigma'_t = \text{Esfuerzo efectivo punta (ver perfil)} = 1.225 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_q = \text{Factor de carga (Tabla)} = 145$$

$$A_p = \text{Área de la punta (35 cm. x 35 cm.)} = 1225 \text{ cm}^2$$

$$K_{HC} = \text{Coef. de empuje horizontal (Tabla)} = 0.50$$

$$\sigma'_0 = \text{Presión efectiva a la altura señalada en el perfil estratigráfico con sus promedios (Figura N° 02)}$$

$$\Theta = \text{ángulo de fricción pilote-suelo (Tabla)} = 28^\circ$$

$$\text{Perim.} = \text{Perímetro de la sección} = 4 \times 35 \text{ cm.} = 140$$

$$Q_{di} = 1.225 \times 145 \times 1225 + [0.50 \times \text{tang } 28^\circ \times 140 (0.69 \times 310 + 0.92 \times 200 + 1.13 \times 200)]$$

$$= 240 \text{ Tm}$$

$$C_s = \text{Coeficiente de seguridad}$$

$$= 240 \text{ Tm} / 57.6 \text{ Tm} = 4.2 \dots \text{ok}$$

### f.3 Capacidad de carga por fórmula dinámica

✓ Como uno de los resultados de la prueba de hinca, se determinó la utilización de

Tesis publicada con autorización del autor

un martillo de mayor capacidad, en este caso, un martillo DELMAG D-22.

No olvide citar esta tesis

**UNFV**

- ✓ La fórmula del fabricante de martillos DELMAG es según lo siguiente:

$W = E \times R / (c \times L + s) (R + Q)$ , despejando el valor s, “Que es la penetración media por golpe en los últimos 10 golpes en mm, se tiene”:

$$s = [E.R / (R+Q) W] - c.L$$

W = Capacidad de carga final en Tm.

Coficiente de seguridad = 3

$$W = 57.5 \times 3 = 172.8 \text{ Tm.}$$

E = Energía por golpe (en kg.) = 5,500 kg

R = Peso de la masa = 2,200 kg

c = factor elasticidad del pilote = 0.30 mm/m

L = Longitud del pilote = 13.50 m

s = Penetración media por golpe en los últimos 10 golpes en mm.

Q = Peso del pilote de 0.35 m. x 0.35 m.x13.50x2.4= 3,969 kg.

- ✓ Aplicando:

$$s = [(5500+2200) / (2200+3969)172.8] - 0.3 \times 13 = 7.3 \text{ mm x golpe}$$

- ✓ Cuando se realice la hincas, y se obtenga una penetración de 6 cm. en los últimos 10 golpes, establecemos que se ha alcanzado el rechazo de diseño con coeficiente de seguridad = 3

#### f.4 Control de la deflexión

Según NAVDOCKS DM-7(Desing Manual Department of the Navy) en base a

experimentaciones de ábacos y fórmulas empíricas, que permite estimar la

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar longitud de empotramiento y deformación, según Figura N° 11.

**UNFV**

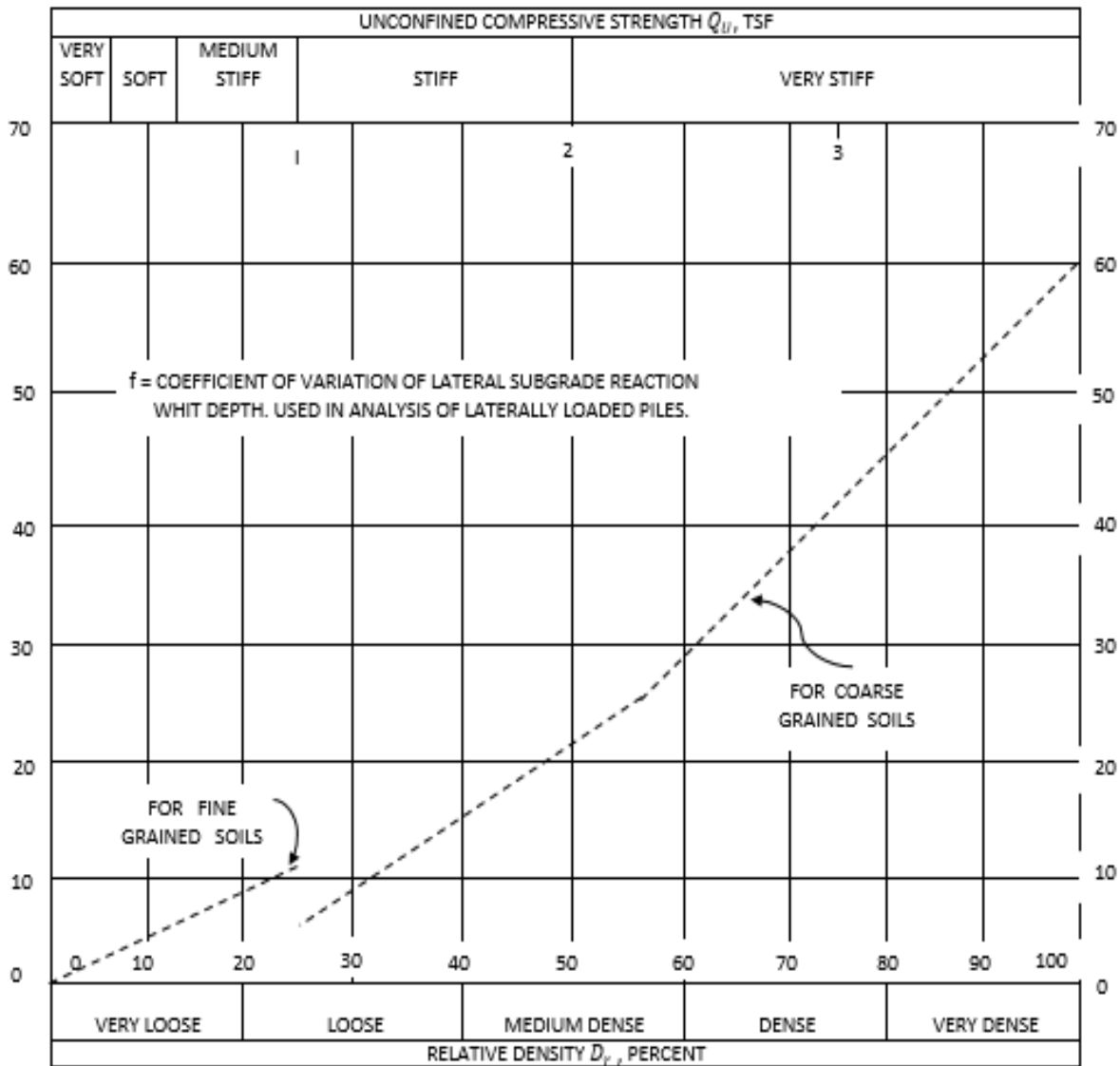
**Procedimiento de cálculo:**

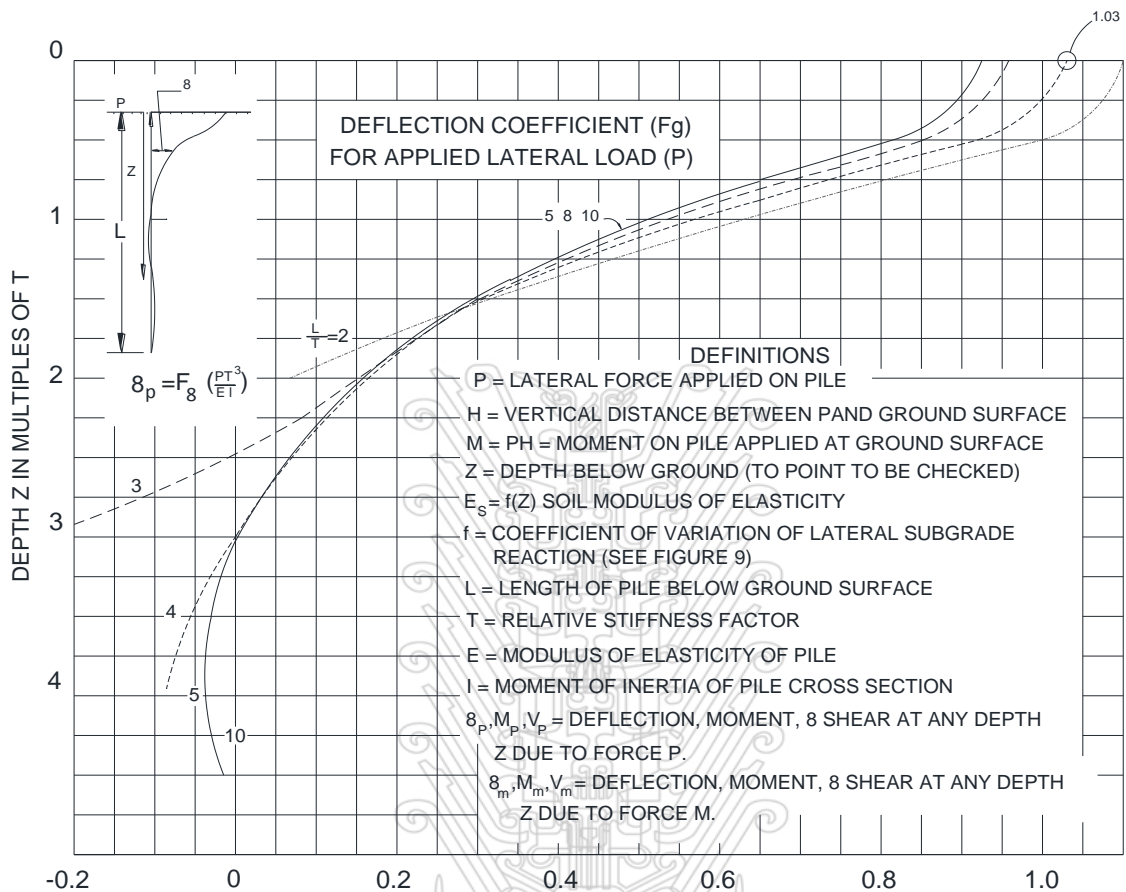
- ✓ Obtener el valor de  $f$  = Coeficiente de variación de reacción de sub rasante lateral.

El pilote en la parte superior donde se va a desplazar, esta embebido en suelo cohesivo blando de grano fino “CL” (Estrato I),

- ✓ Del gráfico, para suelo de grano fino (flojo), consideramos

$$f = 5 T_m / \text{pie}^3 = 0.16 \text{ kg. /cm}^3.$$





**FIGURA N° 11**  
**CONTROL DE LA DEFLECCIÓN**

✓ Por acción de grupo se aplica un valor de reducción:

Espaciamiento de pilotes en dirección del cargado $d$ = diámetro del pilote	Factor de reducción de reacción de subrasante lateral
8d	1.00
6d	0.70
4d	0.40
3d	0.25

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

✓ Estando los pilotes a una separación de 4d, aplicamos el factor de reducción de 0.4; resultando  $f = 0.16 \times 0.4 = 0.064 \text{ k/cm}^3$

✓ Calcular el Factor de Rigidez Relativo (este valor viene de la fórmula de la elástica)

$$✓ T = (E I/f)^{1/5} = [(3.5)^{10} / 0.064]^{1/5} = 222 \text{ cm.}$$

$$✓ E = 15,000(f^2 c)^{1/2} = 280,624 \text{ kg/cm}^2.$$

$$✓ I = (b \times h^3) / 12 = 125,000 \text{ cm}^4$$

$$✓ EI = 3.5^{10} \text{ kg.cm}^2$$

✓  $z =$  Coeficiente de profundidad

$$= L/T = 13.5 \div 2.22$$

$$= 6 \text{ (Sirve para seleccionar la curva en el gráfico de deflexión)}$$

y se obtiene el valor del coeficiente de deflexión  $F_\delta$  para cualquier profundidad; en este caso para nivel de fondo de zapata  $z=0$  y  $F_\delta=0.94$ .

$$✓ \text{ Aplicar la fórmula de deflexión } \delta_p = F_\delta (P T^3) / EI.$$

$$✓ \text{ Para una fuerza horizontal } P = 3500 \text{ kg}$$

$$✓ \delta_p = 0.94 (3500 \times 222^3) / 3.5^{10} = 1.026 \text{ cm, deflexión que disminuye notablemente al emplear 32 pilotes de 40 cm x 40 cm}$$

✓  $L_{emp.} =$  Long. de empotramiento

$$= 1.4 \times 2.22$$

$$= 3.10$$

(inicialmente se ha considerado 3.20) ..... ok

- ✓ Este valor mejora notablemente al emplear 32 pilotes de 40 cm. x40 cm.; cumpliendo las 3.50tn (10% de carga vertical) por efecto de sismo.
- ✓ Para el cálculo del momento máximo se ha considerado como longitud de empotramiento igual a 3.20 m.

**g. Diseño en concreto armado**

El pilote se comporta como columna corta cuando está totalmente embebido.

**g.1 Comprobación por carga axial**

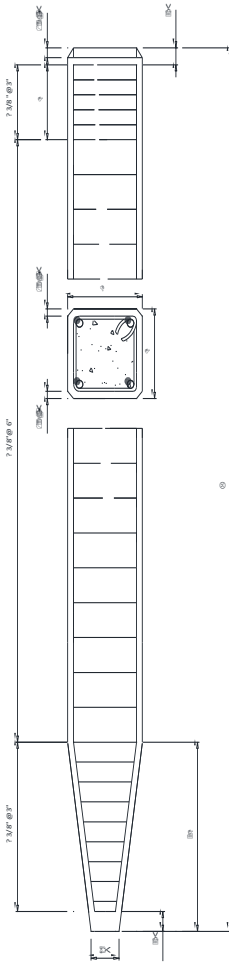
Según Figura N° 12

Comprobación para pilotes zunchados (acero en espiral):

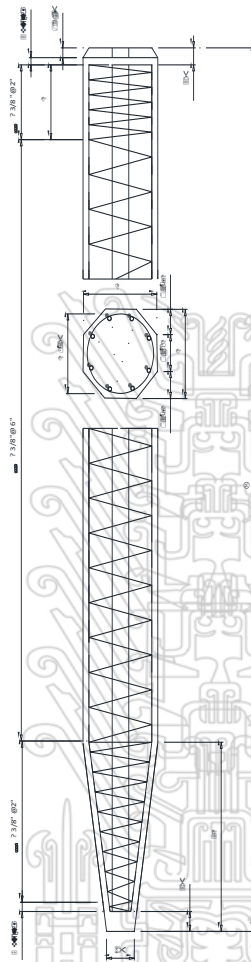
$$\begin{aligned}
 R &= A_g (.225 f'_c + f_s . p_g) \\
 R &= \text{Carga de trabajo en la columna.} \\
 f'_c &= 350 \text{ kg/cm}^2 \\
 f_s &= 1,400 \text{ kg/cm}^2 \\
 A_g &= \text{Área de concreto de la sección} = 35 \text{ cm.} \times 35 \text{ cm} \\
 &= 1,225 \text{ cm}^2 \\
 A_s &= \text{Área de acero.} \\
 &= 4 \text{ } \varnothing 1'' + 4 \text{ } \varnothing 3/4 \text{ (Área asumida para comprobar)} \\
 &= 31 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$R = 1225 (.225 \times 350 + 1400 \times 0.02) = 130 \text{ Tm} \dots \dots \dots \text{ok}$$

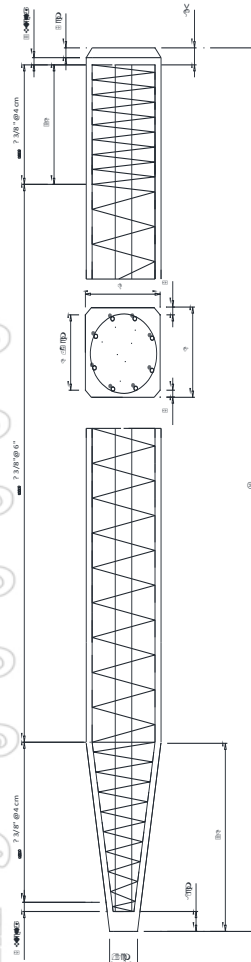
**PILOTES CONVENCIONALES DE CONCRETO ARMADO**



SECCION CUADRADA



SECCION ORTOGONAL



SECCION CUADRADA

$$R = 0.8 A_g (0.255 f'c + f_s p_g)$$

$$R = A_g (0.255 f'c + f_s p_g)$$

$$R = A_g (0.255 f'c + f_s p_g)$$

R = carga sobre pilote.

A<sub>g</sub> = sección transversal del pilote.

f'c = esfuerzo de rotura a la compresión de concreto a los 28 días

P<sub>g</sub> = cuantía de acero ( $\frac{A_s}{A_g}$ )

Si la columna es larga

$$R' = R [(1.3 - 0.03 (\frac{L}{\dots}))]$$

No olvide citar esta tesis

**FIGURA N° 12**  
**PILOTES PREFABRICADOS**

**g.2 Comprobación por corte**

$$v = 0.53 (f'c)^{1/2}$$

$$= 0.53 (350 \text{ kg/cm}^2)^{1/2}$$

$$= 9.91 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{permisible}$$

Para una carga horizontal de 3.5 Tm

$$V \text{ max} = 3.50 \text{ Tm.} \times 1.25 / 0.85 \times 35 \text{ cm.} \times d$$

$$d = 35 \text{ cm.} - 4.50 \text{ cm. (recubrimiento)} = 30.50 \text{ cm.}$$

$$V \text{ max} = 4.82 \text{ kg/cm}^2 < 9.91 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{ok}$$

**g.3 Diseño por flexo-compresión**

Momento de carga horizontal (Mu) = 19.04 Tm-m

Excentricidad (e) considerando solo la carga axial factorada.

$$e = 19.04 \text{ Tm-m} / 49 \text{ Tm}$$

$$= 0.388 \text{ m}$$

$$A_g = 1,225 \text{ cm}^2$$

Diámetro del núcleo g.d

$$g. d = t - 2 (\text{recubrimiento} + \varnothing / 2 \text{ varilla longitudinal})$$

$$= 35 \text{ cm.} - 2 (4.00 \text{ cm.} + 1.27)$$

$$= 24.50 \text{ cm}$$

$$g = 24.50 \text{ cm} / 35 \text{ cm}$$

$$= 0.70 \text{ (Corresponde curva Fig. N°13)}$$

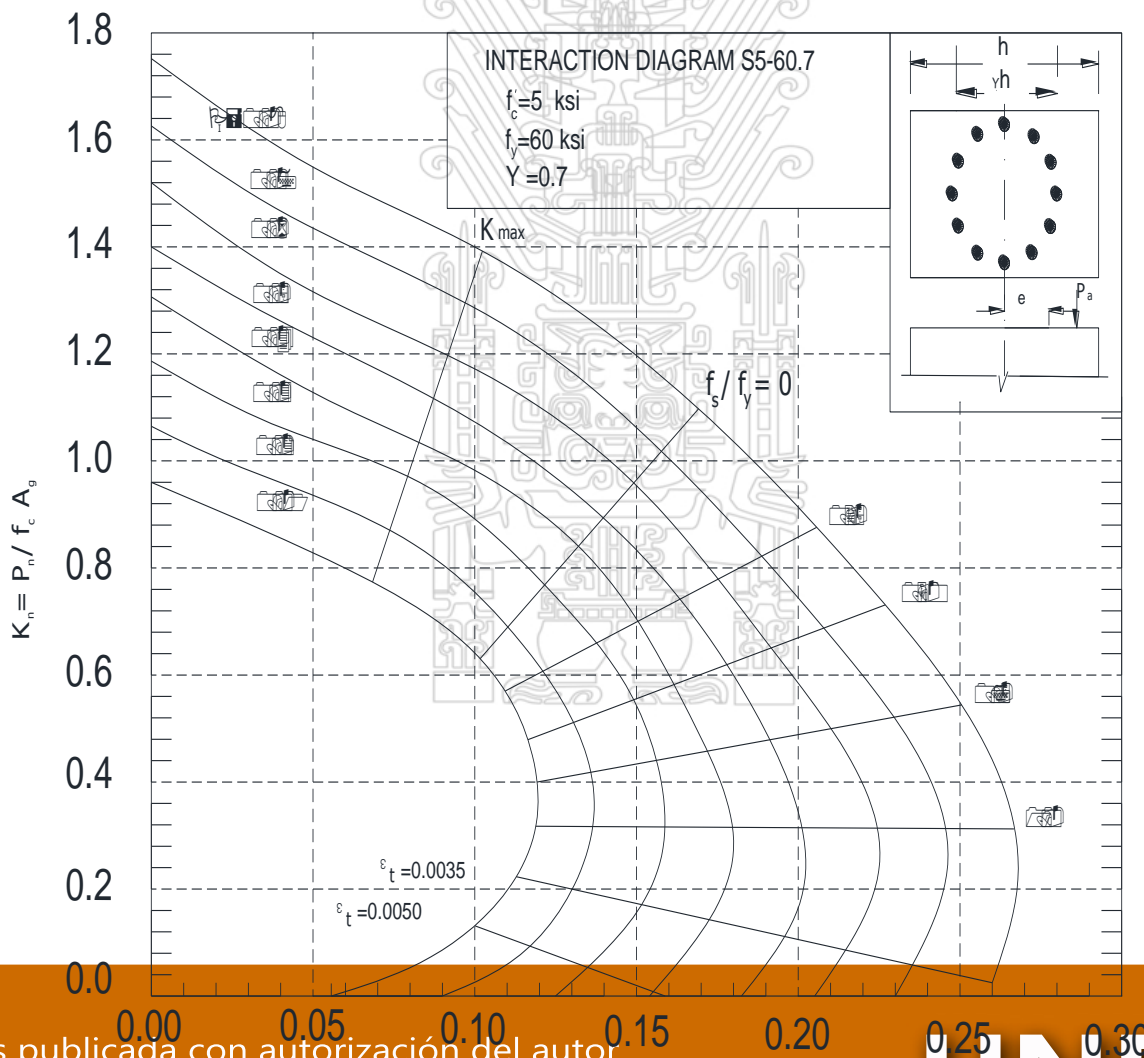
$$K = P_u / f'_c \cdot A_g$$

$$= 49,000 \text{ kg} / 350 \text{ kg/cm}^2 \times 1,225 \text{ cm}^2$$

$$= 0.114$$

$$Ke/t = 0.114 \times 38.8 \text{ cm} / 35 \text{ cm} = 0.126$$

Según el gráfico de interacción COLUMNS 7.21.3 Nominal load-moment strength interaction diagram, S5-60.7 del ACI DESIGN HANDBOOK,



**FIGURA N° 13**  
**COLUMNS 7.21.2**

**Nominal load-moment strength interaction diagram, S5-60.7**

References: “Building code Requirements for Structural Concrete-ACI 318” Chapters 9 and 10, and “Ultimate Strength Design of Reinforced Concrete Columns”, ACI Special Publication SP-7, by Everard and Cohen, 1964, pp. 152-182 (With corrections).

según Figura N° 13:

$$\begin{aligned} \text{Área de acero} &= 2.3 \% \times 1,225 \text{ cm}^2 = 28.17 \text{ cm}^2 \\ &= 4 \text{ } \varnothing \frac{3}{4} + 4 \text{ } \varnothing 1'' \text{ (31.6 cm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{ok} \end{aligned}$$

**g.4 Zunchado (acero en espiral  $\varnothing = 3/8$ , espaciado 7.50 cm)**

$$\begin{aligned} p' &= \text{Volumen de acero/volumen del núcleo de concreto} \\ A_g &= \text{Área total de la sección transversal (} A_g \text{ puede reducirse al 60\%)} \\ &= 1,225 \text{ cm}^2 \\ d' &= \text{Diámetro del núcleo de concreto} \\ &= 35 \text{ cm} - 8 \text{ cm} \\ &= 27 \text{ cm} \\ A_c &= \text{Área del núcleo medida al diámetro exterior de la espiral} \\ &= (3.14) (d')^2/4 = (3.14) (27 \text{ cm})^2/4 \\ &= 572 \text{ cm}^2 \\ A_s &= \text{Área del zuncho de } \varnothing 3/8 \\ &= 0.71 \text{ cm}^2 \\ S &= \text{Espaciamiento o paso de la espiral (valor para comprobación)} \end{aligned}$$

$$= 7.50 \text{ cm. (max.)}$$

Según ACI, 10.9.3, establece que la cuantía de refuerzo en espiral no debe ser menor que:

$$p' \geq 0.45 [(A_g/A_c)-1] (f' / f_y)$$

$$p' \geq 0.45 [(1,225\text{cm}^2 \times 0.6 / 572\text{cm}^2) - 1] 350 / 4200$$

$$= 0.011$$

Para la columna zunchada, se tiene:

$$p' = 4.A_s / d' . S$$

$$A_s = 0.71 \text{ cm}^2 \text{ (Acero del zuncho de 3/8)}$$

$$S = 7.50 \text{ cm (Paso)}$$

$$p' = 4 \times 0.71 / 27\text{cm} \times 7.50 \text{ cm}$$

$$0.014 > 0.011 \dots \dots \dots \text{ok}$$

**g.5 Chequeo por izaje de 2 puntos, para manipuleo**

$$\text{Distancias} = 0.207L, 0.586 L \text{ y } 0.207L$$

$$\text{Momento} = \text{Momento del volado}$$

$$M = 0.0212 WL^2$$

$$W = 0.40 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 2.4 \text{ Tm/m}^3 \times 1.00 \text{ m} = 0.384 \text{ Tm.}$$

$$M = 0.0212 \times 0.384 \times (13.5)^2 = 1.48 \text{ Tm-m}$$

**g.6 Chequeo por izaje de 1 punto, para hincado**

$$\text{Distancia} = 0.293 L$$

$$\text{Momentos} = 0.043 WL^2$$

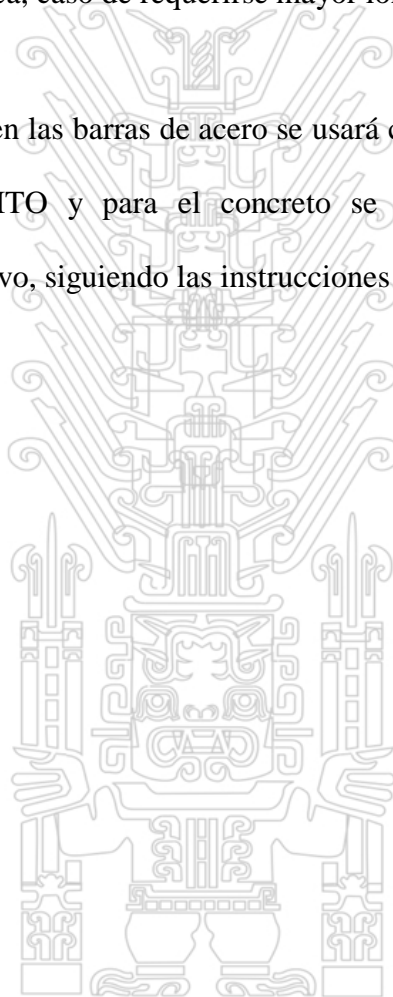
$$= 0.043 \times 0.384 \times (13.50)^2$$

$$= 3.14 \text{ Tm-m}$$

El momento y cortante son menores a los producidos por la carga horizontal (No requiere chequeo)

**g. Observaciones**

- ✓ En el proceso de hincas, caso de requerirse mayor longitud de penetración, se usará un suplex.
- ✓ Para los empalmes; en las barras de acero se usará cordones dobles de 30 cm. con soldadura SUPERCITO y para el concreto se usará EPOXICO para pegar concreto viejo al nuevo, siguiendo las instrucciones del fabricante.



#### 4.1.2 PILOTE DE CONCRETO ARMADO, EXCAVADO Y VACEADO “IN SITU”

##### a. Problema técnico a tratar

Se trata de las zapatas de cimentación apoyadas en pilotes de concreto armado para un puente (ETEN) de concreto armado.

Se requiere construir un puente de dos carriles de concreto armado en la carretera panamericana norte de nuestro país. Por las condiciones de ubicación sobre río caudaloso con grandes desproporciones de caudal, estará sometido a serios problemas técnicos de socavación y además, por estar ubicado dentro del ámbito geográfico del fenómeno del niño, recurrente en el norte de nuestro de país, el cual, en ciertas épocas trae caudales extraordinarios (en 1983, el caudal del río llegó a  $800 \text{ m}^3/\text{seg}$  y en 1998 el caudal del río llegó a  $2,500 \text{ m}^3/\text{seg}$ ), se utilizara pilares sobre zapatas, las cuales están apoyadas en pilotes perforados vaciados “in situ”.

De tal manera, que la cimentación profunda por pilotaje, pueda soportar grandes tirantes de agua en época de caudales extraordinarios.

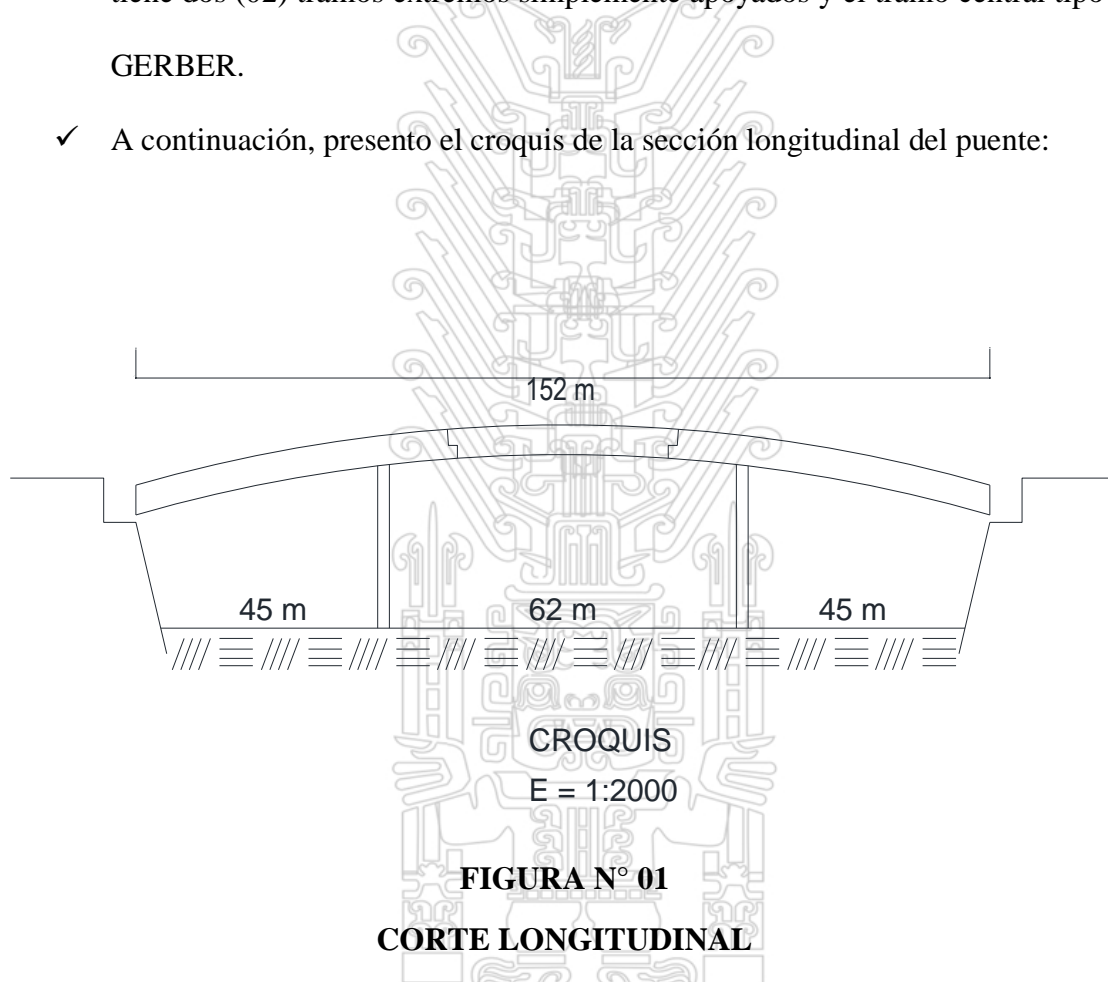
##### b. Detalles generales a considerar

Para la construcción de lo antes señalado, se consideran los siguientes parámetros técnicos:

- ✓ Los caudales indicados producen grandes tirantes de agua.
- ✓ Los tirantes de agua mayores conducen al fenómeno de socavación.
- ✓ La longitud del puente y la máxima carga permitida en carretas nacionales.

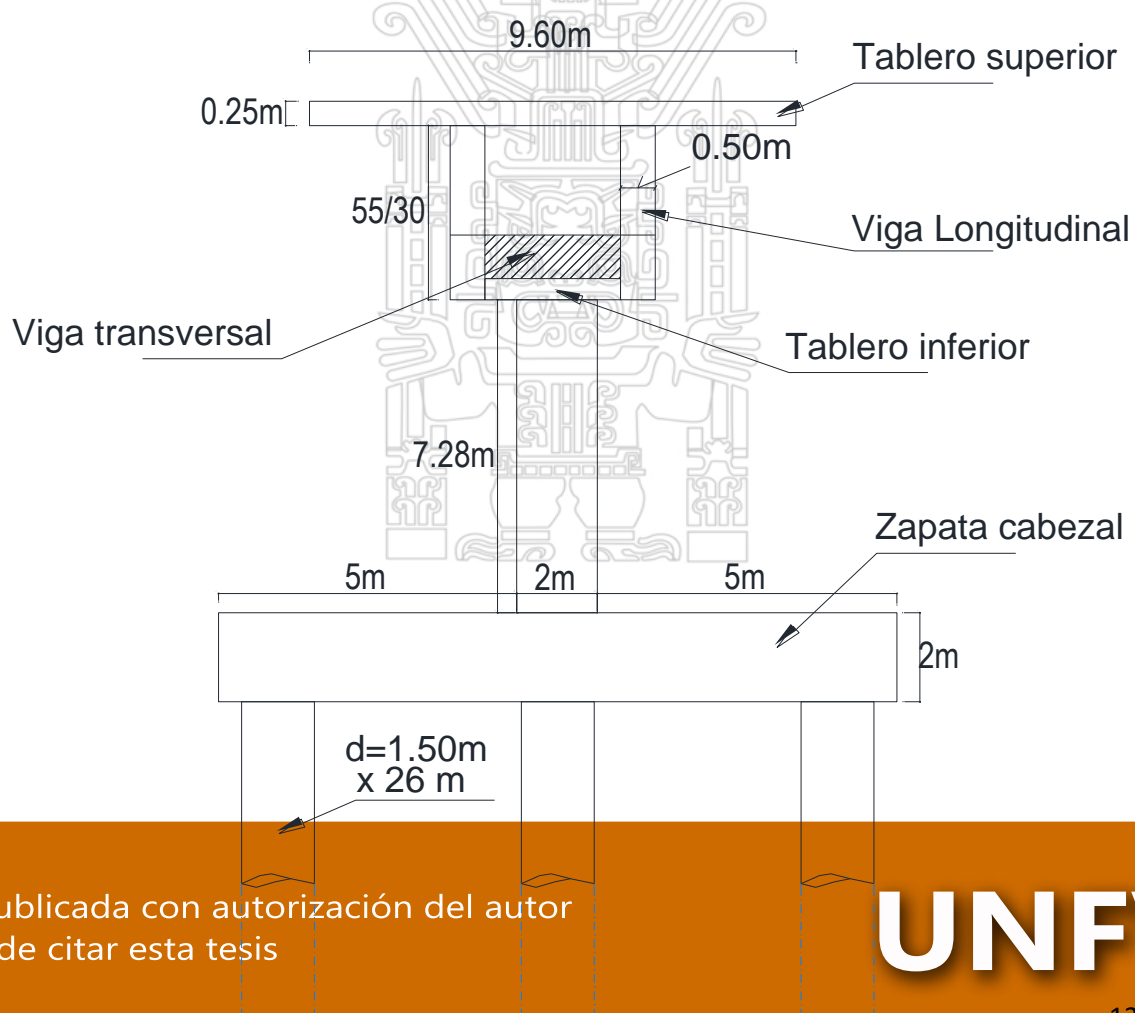
**c. Requerimientos técnicos de diseño**

- ✓ La longitud el puente está compuesto de tres (03) tramos de 45.00 m., 62.00 m., y de 45.00 m., totalizando una longitud final de 152.00 m. de luz; de los cuales se tiene dos (02) tramos extremos simplemente apoyados y el tramo central tipo viga GERBER.
- ✓ A continuación, presento el croquis de la sección longitudinal del puente:



- ✓ Para la superestructura, se consideran dos (02) vigas longitudinales acarteladas postensadas (con variación de 3.00 m. a 5.50 m.) con espesor igual a 0.50 m., tablero superior de 9.60 m. x 0.25 m. y loza inferior de 4.50 m. x 0.20 m.

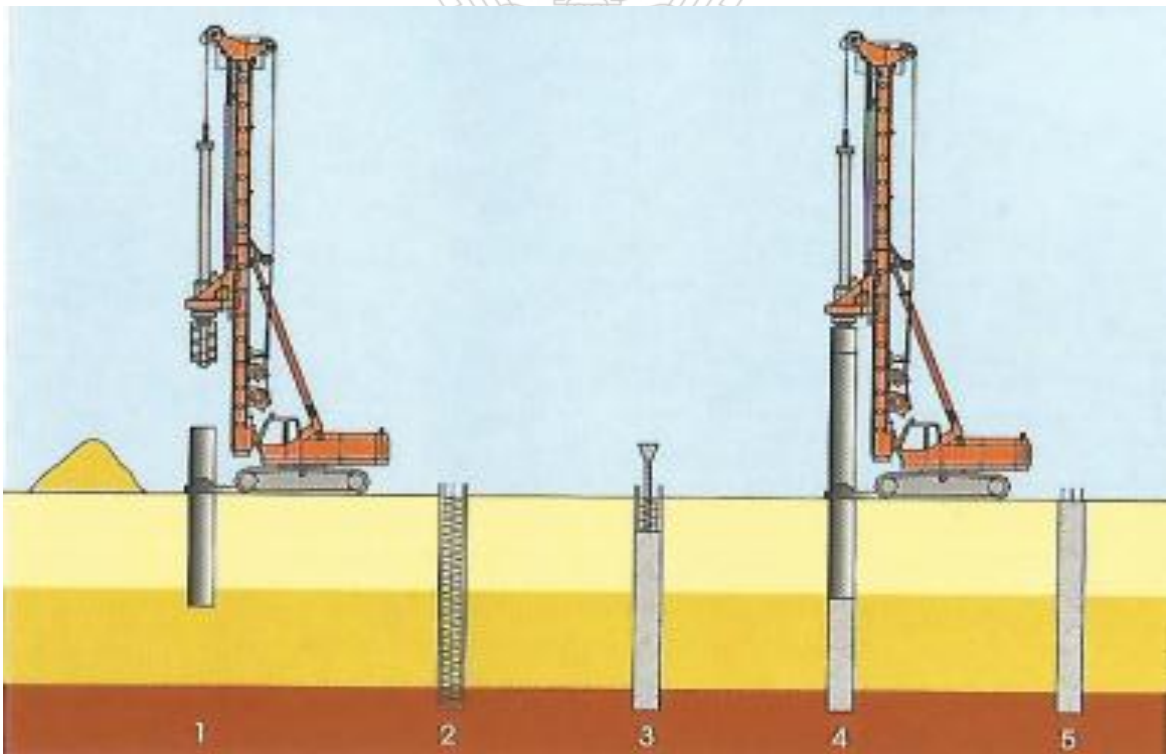
- ✓ Los estribos tienen dos (02) columnas de 1.50 m. x 0.80 m. x 2.93 m. y sobre éstas una viga de 1.50 m. x 1.50 m. donde se apoyan las vigas postensadas. Como respaldar es una defensa de roca.
- ✓ Su cimentación es una zapata-cabezal de 8.00 m. x 7.00 m. x 1.50 m.
- ✓ Esta zapata-cabezal está apoyada en cuatro (04) pilotes perforados de  $\varnothing = 1.50$  m. y de longitud 30 m.
- ✓ Los pilares es una sola columna de  $\varnothing = 2$  m., altura = 7.26 m. y viga transversal de 2.00 m. x 2.30 m. x 5.50 m., donde se apoyan las vigas longitudinales.
- ✓ La cimentación es una zapata-cabezal de 12 m. x 12 m. x 2 m. y 9 pilotes perforados de  $\varnothing = 1.50$  m. y de longitud 26mts.



**FIGURA N° 02**  
**CORTE TRANSVERSAL**

**d. Procedimiento de ejecución del pilote perforado**

- ✓ Para el pilotaje se ha considerado utilizar perforadora con circulación de agua, fuste con camisa recuperable y con vaciado de concreto empleando el sistema TREMIE, según lo siguiente:



**FIGURA N° 03**  
**PILOTE EXCAVADO Y VACEADO “IN SITU”**

Procedimiento de ejecución:

- 1.- Excavación con hélice conteniendo las paredes de la perforación mediante tubería metálica recuperable.

3.- Vaceado con tubo TREMIE.

4.- Extracción simultanea de la tubería de revestimiento.

5.- Pilote concluido.

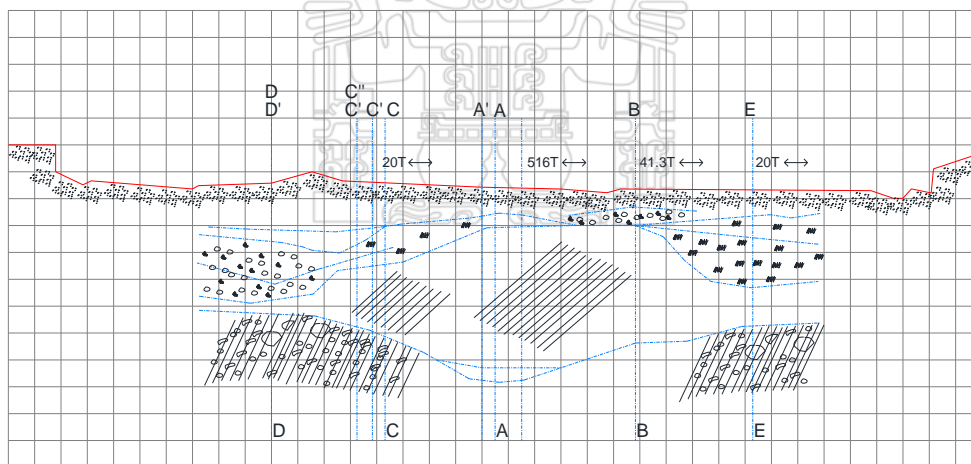
#### e. Cimentación por pilotaje ejecutada

La cimentación del puente ha sido diseñada para transmitir las cargas a través de veintiséis (26) pilotes de  $\varnothing = 1500$  mm, según lo siguiente:

- ✓ Para la cimentación de los pilares, se emplearon 18 pilotes de 26.50 m. de largo.
- ✓ Para la cimentación de los estribos, se emplearon 8 pilotes de 30.50 m. de largo.
- ✓ El total de perforación, alcanzó los 721 m.
- ✓ La perforación se realizó en suelo arena-arcilla de alta compacidad con un promedio de excavación de cuatro (04) pilotes cada tres (03) días.

#### f. Estudio de mecánica de suelos (EMS)

- ✓ Se utilizó el método SPT (Ensayo de penetración estándar)
- ✓ Se realizaron cinco (05) perforaciones de hasta 18.00 m. de profundidad.



LEYENDA

$q_{adm} = 2.2 \text{ Kg/cm}^2$



ARENA FINA UNIFORME  
ARENA MEDIA O GRUESA  
ARENA FINA Ó MEDIA CON LENTES DE ARCILLA  
ARENA Y/O LIMO (CL - ML)  
GRAVA CON FRAGMENTOS DE ROCA ( $d=30\text{cm}$ )

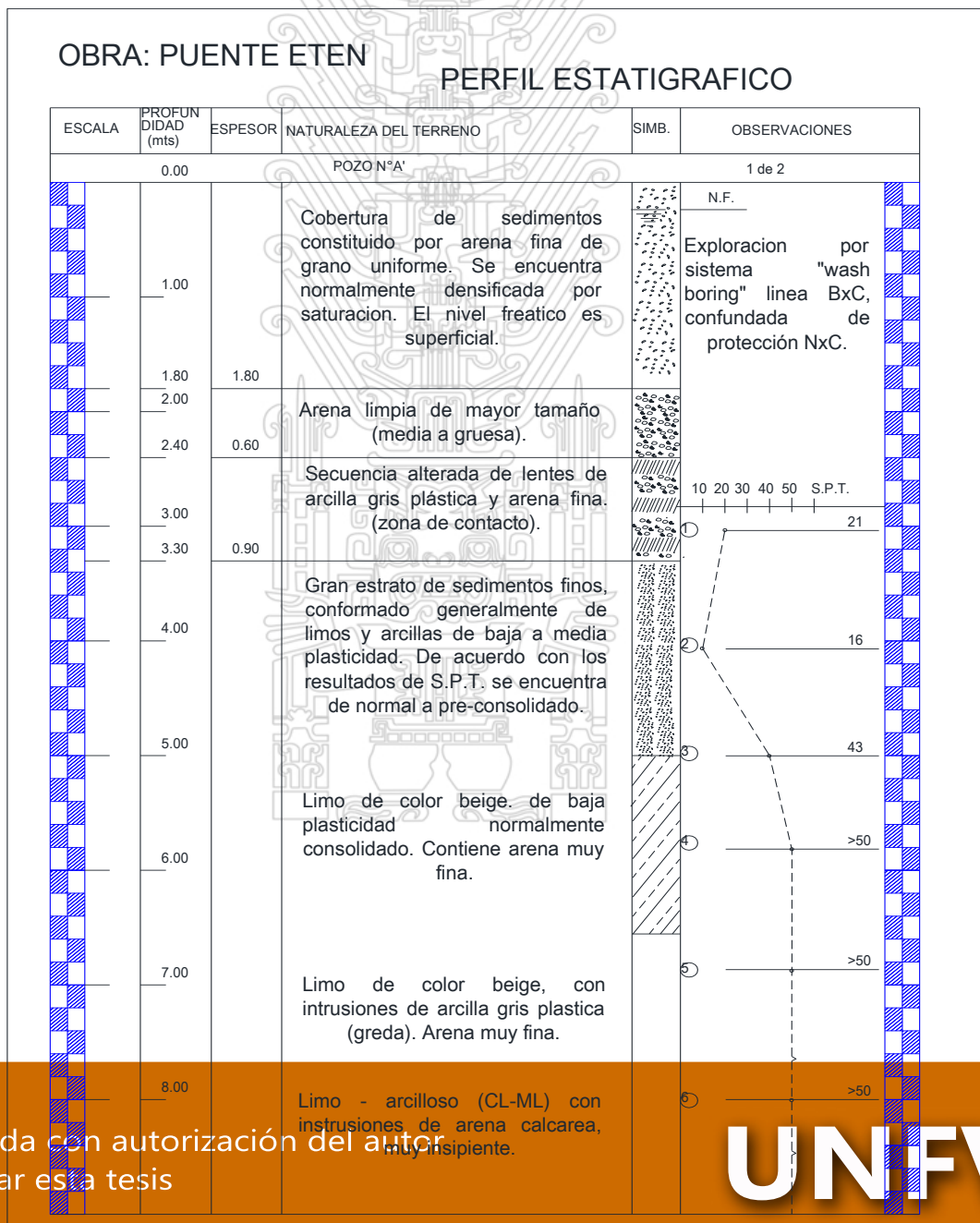
Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

UNFV

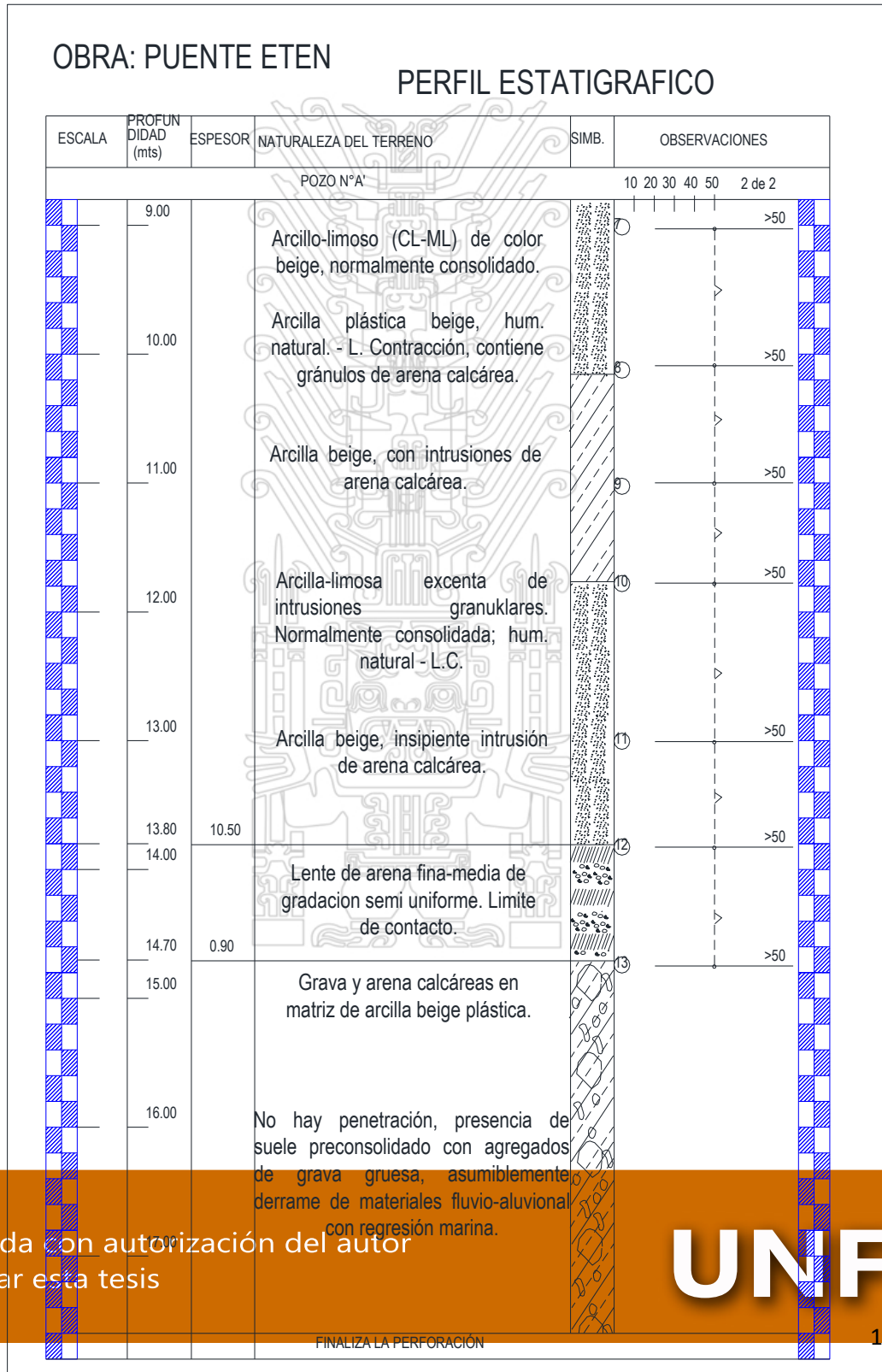
**FIGURA N° 04**

**EXCAVACIONES REALIZADAS**

- ✓ Con los resultados de campo, se elaboró el Perfil Estratigráfico para toda la profundidad de ensayo; de 0 a 8 m. (FIGURA N° 05) y de 8 a 18 m. (FIGURA 06)



**FIGURA N° 05**  
**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**  
**DE 0.00 m. A 8.00 m. DE PROFUNDIDAD**



**FIGURA N° 06**  
**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**  
**DE 0.00 m. A 8.00 m. DE PROFUNDIDAD**

- ✓ Como resultado, en promedio se encontró:
1. 3.00 m. de arena fina,
  2. 2.00 m. de arena gruesa con lentes de arcilla y/o limo (CL-ML),
  3. 9.00 m. de arcilla y/o limo (CL-ML),
  4. El resto, de arcilla aglomerante con grava y arena calcárea con  $SPT \geq a 50$  correspondiendo a suelo de alta consistencia, baja compresibilidad y normalmente consolidado. Es en este estrato donde quedarán empotrados los pilotes.
  5. No se encontró manto rocoso.

**g. Verificación del pilote para cimentación del pilar.**

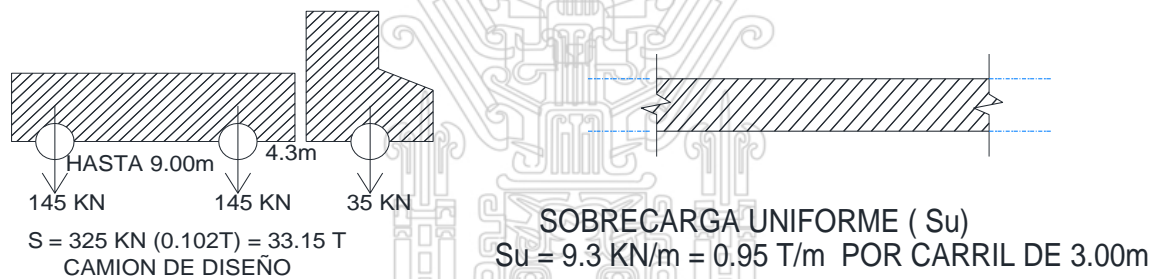
**g.1 Cargas de sollicitación vertical del pilar**

- ✓ **Carga de peso propio:**
- Vigas postensadas  
 $(22.5 + 31) \cdot 1/2 \cdot (5.5 + 3) \cdot 0.5 \cdot (2) = 227 \text{ m}^3$
  - Tablero inferior  $53.5 \times 4.5 \times 0.2 = 48 \text{ m}^3$
  - Tablero Superior  $53.5 \times 9.6 \times 0.25 = 128 \text{ m}^3$
  - Pista asfáltica  $53.5 \times 7.2 \times 0.05 = 19 \text{ m}^3$

- Pilar Ø 2mt.  $7.28 \times \pi \times 2.4$  = 54 Tm
- Viga transversal  $4.50 \times 2.30 \times 2$  (2.4) = 50 Tm
- Zapata-Cabezal  $12 \times 12 \times 2$  (2.4) = 691 Tm
- Carga peatonal  $53.5 \times 1.2 \times 2 \times 0.3$  = 38 Tm
- Carga vehículos  $7 \times 33.15 \times (1.3 \text{ impacto})$  = 301 Tm
- Carga uniforme  $0.95 \times 2 \times 53.5$  = 101 Tm
- = 2,248 Tm
- Carga por pilote (sin peso propio del pilote) es  $2,248 / 9$  = 250 Tm

Referencia MTC. (Manual de Puentes) Para la carga de vehículos usamos la nueva sobrecarga AASHTO (antes AASHO) (American Association Of State Highway and Transportation Offiicials) y la Norma de Diseño por Carga y Resitencia Facturada (LRFD)

La sobrecarga de diseño es HL93 (R.M. 589-2003-MTC)



(En 55.00 m. pueden ubicarse hasta 07 trailers en ambos carriles)

**FIGURA N° 07**

## **CARGAS EN PUENTES**

### **g.2 Cargas de sollicitación horizontal del pilar**

✓ **Fuerza del agua sobre el pilar (máximo caudal):**

- Usando la fórmula (Pedro Laínez Lozada, Ing. Civil, UNI)

$$P = 52.5 \times K \times V^2; \quad \text{donde:}$$

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis presión en  $\text{kg/m}^2$

K = coeficiente que depende de la forma del área de choque

1.33 cuadrada, 0.67 redondeada y 0.50 triangular

V = velocidad del agua en m/seg.

- Considerando que 10.00 m. bajo el lecho del río, estén comprometidos como zona de suelo licuefactable (tirante de agua en el río = 5.00 m.), obtenemos la fuerza del agua, aplicando a un área estimada de palizada, con las siguientes velocidades posibles:

V = 6 m/seg en pilar,

V = 4 m/seg en zapata – cabezal y

V = 3 m/seg en zona licuada de pilotes, siendo:

$$\text{Pilar} = 52.5 \times 1.33 \times 6^2 (5 \times 8) = 100 \text{ Tm}$$

$$\text{Zapata} = 52.5 \times 1.33 \times 4^2 (2 \times 16) = 35 \text{ Tm}$$

$$\text{Pilotes} = 52.5 \times 1.33 \times 3^2 (8 \times 16) = \underline{80 \text{ Tm}}$$

$$= 215 \text{ Tm}$$

- Para ubicar la resultante sobre la zapata–cabezal, tomamos momentos desde el nivel de empotramiento:

$$100 \times 12.5 = 1,250 \text{ Tm-m} +$$

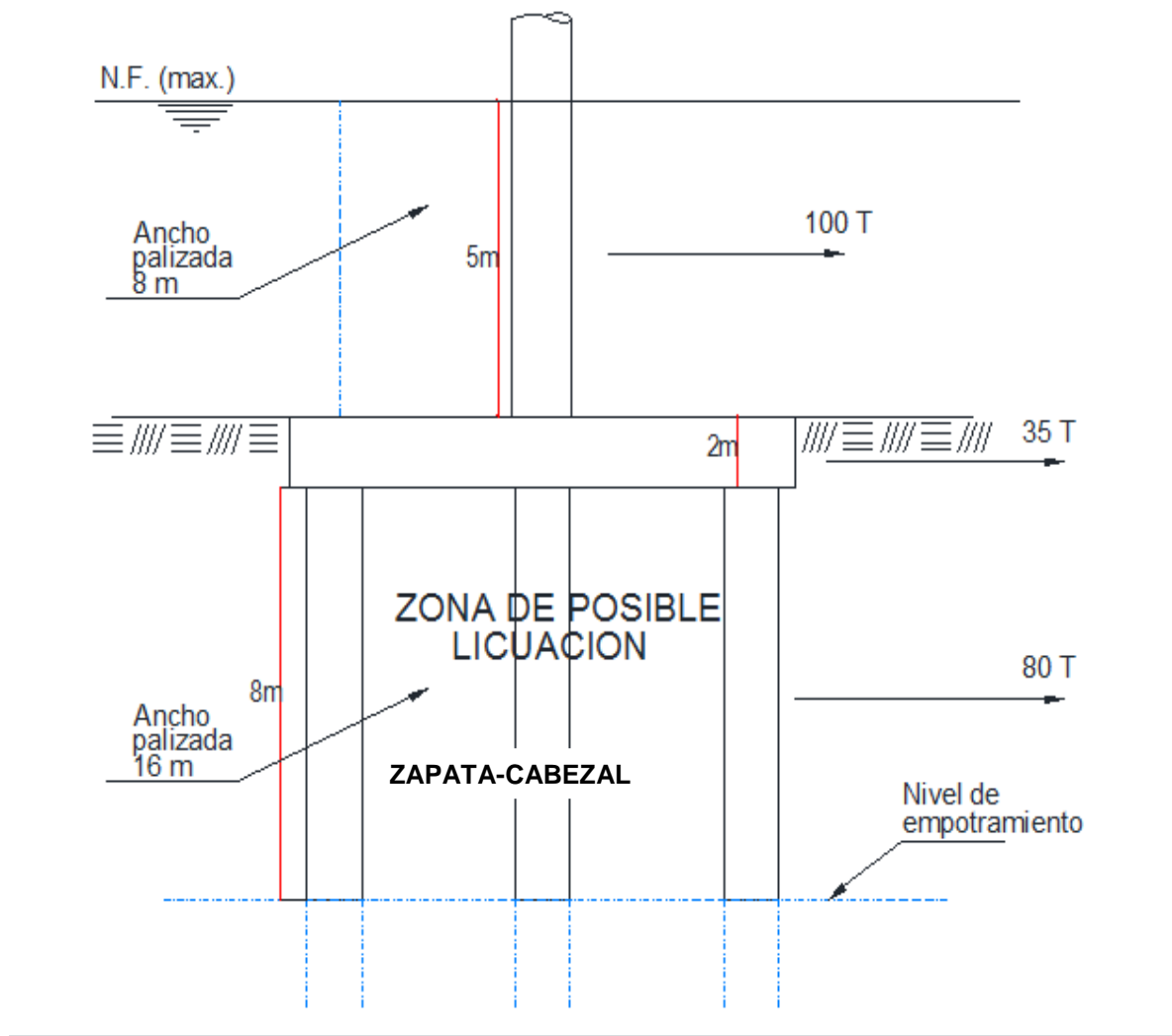
$$35 \times 9.0 = 315 \text{ Tm-m} +$$

$$80 \times 4.0 = \underline{320 \text{ Tm-m}}$$

$$= 1,885 \text{ Tm-m} \div 9$$

23 Tm por pilote de carga horizontal, a nivel de zapata – cabezal por efecto de la fuerza del agua.

- Según el siguiente croquis:
- Se han considerado las cargas horizontales aplicadas al pilar, zapata y pilotes:



**FIGURA N° 08**  
**CARGAS HORIZONTALES**

- ✓ Considerando un 12.5 % de la carga vertical, incluyendo el peso propio del pilote hasta el nivel de empotramiento:  $0.125 \times 284 \text{ Tm} = 35.5 \text{ Tm}$ ; esta fuerza horizontal es mayor que el efecto del agua y es la que usamos en los cálculos.

## h. Comprobación de la capacidad de carga del pilote

### h.1 Capacidad de Carga de Pilote aislado en suelo cohesivo:

- ✓ Usando Mecánica de suelos aplicada, Roberto Michelena Cárdenas, Ing. Civil, UNI, Paginas 151-153, según lo siguiente;

- ✓ Suelos cohesivos:

Para un pilote aislado embebido en un suelo cohesivo, se tiene que:

$$q_d = c N_c$$

$$s_s = c_a, \text{ donde:}$$

$$Q_{di} = C N_c A_p + \sum C_a A_L, \text{ donde:}$$

$e$  = cohesión a la profundidad de la punta del pilote

$N_c$  = factor de capacidad de carga

$c_a$  = adherencia en la superficie lateral del pilote

Debe notarse que el termino  $\gamma_d$  no ha sido incluido en el cálculo de  $q_d$ , asumiendo se compensa con el peso propio del pilote.

$N_c$  es función  $z/b$  y para pilotes ( $z/b > 10$ ) es igual a 9.

- ✓ Para otros valores de  $z/b$  tiene los valores siguientes:

$z/b$	1	2	3	>4
$N_c$	7.7	8.4	8.7	9

--	--	--	--	--

✓ Usando el Manual NAVFAC-72:

La adherencia  $c_a$  es función de la cohesión del suelo; los valores recomendados aparecen en el siguiente cuadro (Manual NAVFAC, 1972):

CONSISTENCIA DEL SUELO	c (kg/cm <sup>2</sup> )	c <sub>a</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	
		PILOTE DE MADERA O CONCRETO	PILOTE DE ACERO
Muy blando	0-0.125	0-0.125	0-0.125
Blando	0.125-0.25	0.125-0.24	0.125-0.23
Medio compacto	0.25-0.50	0.24-0.375	0.23-0.35
Compacto	0.50-1.00	0.375-0.475	0.35-0.36
Muy compacto	1.00-2.00	0.475-0.65	0.36-0.375
Duro		>2.00	0.375-0.65

**Considerando pilote embebido en suelo cohesivo:**

$$Q_{di} \text{ (Resistencia total)} = C \cdot N_c \cdot A_p \text{ (Resistencia por punta)} + C_a \cdot A_L \text{ (Resistencia por fricción)}$$

$$A_p = \text{Área de la punta} = \pi \cdot r^2 = 3.14 (0.75)^2 = 1.767 \text{ m}^2$$

$$L = 26 \text{ m. (longitud del pilote, para fricción lateral sólo consideramos 18m., socavación)}$$

$$A_L = \text{Área lateral} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L = 2 \times 3.14 \times 0.75 \times 18 = 84.80 \text{ m}^2$$

$$C_a = \text{Coeficiente de fricción lateral} = 0.3 \text{ kg/cm}^2 = 3 \text{ Tm/m}^2$$

$$C = \text{Cohesión} = 1.5 \text{ kg/cm}^2 = 15 \text{ Tm/m}^2$$

$$N_c = L/d > 10,$$

el valor máximo es 9

$$d = 1.50 \text{ m. (diámetro del pilote)}$$

$$Q_{di} = 15 \times 9 (1.767 \text{ m}^2) + 3 (84.8 \text{ m}^2) = 238.5 + 254.4 = 492.9 \text{ Tm}$$

$$\text{Coeficiente de seguridad} = 492.9/250 = 1.97 \text{ .....ok}$$

## h.2 Criterios para el cálculo de la capacidad de carga de un pilote

✓ Usando Theoretical Soil Mechanics, 1943, de Karl Terzaghi, Ing. Mecánico:

Existen dos procedimientos básicos para estimar la carga última y en consecuencia, la carga de trabajo, que puede soportar un pilote.

1.- Método estático.

2.- Método dinámico.

El método estático considera la resistencia por apoyo de la punta y la resistencia por fricción en la superficie lateral del pilote, es decir.

$$R_t = R_p + R_f$$

En donde:

$R_t$  = Resistencia total última del pilote.

$R_p$  = Resistencia última por apoyo en la punta.

$R_f$  = Resistencia última por fricción en la superficie lateral del pilote.

✓ El Ing. Mecánico Karl Terzaghi, ha propuesto las siguientes expresiones para calcular  $R_p$  y  $R_t$ , o sea la capacidad ultima de carga de los pilotes por cuanto al suelo se refiere; para escoger la sección y longitud de los pilotes.

✓ Para el cálculo de  $R_p$  se tiene:

1. Para pilotes cuadrados:

$$R_p = B^2 (1.3 c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.4 \gamma \cdot B \cdot N_w)$$

2. Para pilotes circulares:

$$R_p = \pi \times r^2 (1.3 c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.60 \gamma \cdot r \cdot N_w)$$

Donde:

$B$  = Lado de la sección transversal cuadrada del pilote en metros.

$r$  = Radio de la sección transversal circular del pilote, en metros.

$C$  = Cohesión del terreno,  $Tm/m^2$ .

$D_f$  = Profundidad de la punta del pilote con respecto a la superficie del terreno, en metros.

Donde:

$N_c, N_q$  y  $N_w$  = Factores que dependen del ángulo de fricción interna

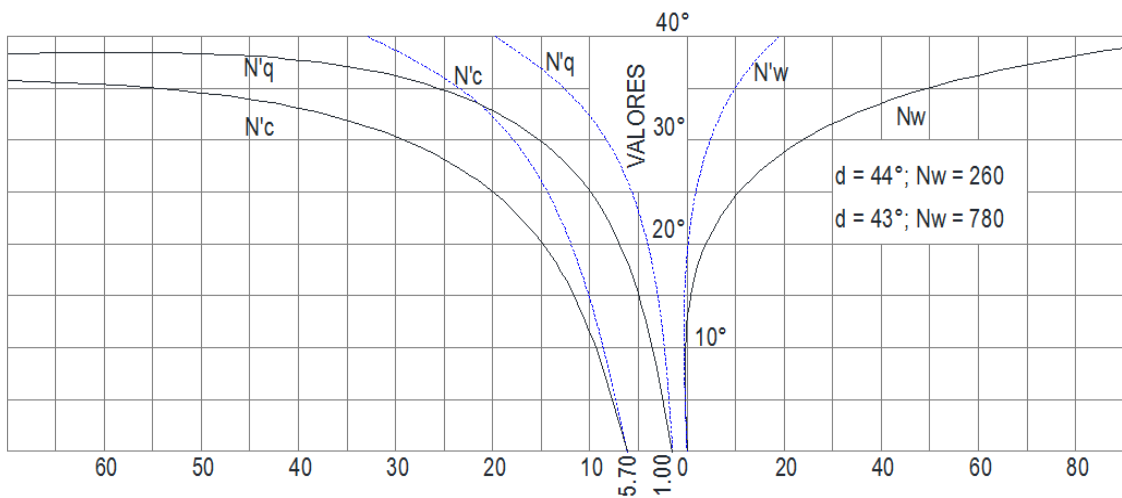
$\gamma$  = Peso volumétrico del suelo en  $Tm/m^2$

TIPO DE SUELO	Fricción lateral ( $Tm/m^2$ )
Arcilla suave y lino	1.0 – 2.0
Lino arenoso	2.0 – 5.0
Arcilla rígida	4.0 – 10.0

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

Arena suelta	2.0 – 3.0
Arena densa	3.0 – 10.0



VALORES DE  $N_c$  Y  $N_q$

VALORES DE  $N_w$

Factores de capacidad de carga para aplicación de la teoría de Terzaghi

FACTORES DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CONDICIONES GENERALES DE CORTE			
d	$N_c$	$N_q$	N
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	25.2	19.7
34	52.6	36.5	35.0
35	57.8	41.4	42.4

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

UNFV

40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.5
48	258.3	287.9	780.1
50	347.5	415.1	1153.2

VALORES APROXIMADOS DE Ca (kg/cm <sup>2</sup> )	
Limo y arcilla blanda	0.075 – 0.300
Arcilla muy compacta	0.500 – 2.000
Arena suelta	0.125 – 0.350
Arena densa	0.350 – 0.700
Grava densa	0.500 – 1.000

DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PESOS VOLUMÉTRICOS		
	SECO	SATURADO	SUMERGIDO
	$\gamma_s$ en Tm/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ en Tm/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sum}$ en Tm/m <sup>3</sup>
Grava húmeda	1.70	2.00	1.00
Arena uniforme suelta	1.43	1.89	0.89
Arena uniforme densa	1.75	2.09	1.09
Arena graduada suelta	1.59	1.99	0.99
Arena graduada densa	1.89	2.16	1.16
Material de acarreo, muy bien graduado	2.12	2.32	1.32
Arcilla suave		1.77	0.77
Arcilla rígida		2.07	1.07
Arcilla orgánica		1.58	0.58

suave			
Arcilla orgánica muy suave	1.00	1.43	0.43
Bentonita suave		1.27	0.27

**VALORES PROMEDIO DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN LOS SUELOS DE LIMA Y ALREDEDORES**

DESCRIPCIÓN DEL SUELO	E (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>1.- Arcillas:</b> Arcilla plástica, poco resistente Arcilla plástica, consistente	45 a 92 101 a 169
<b>2.- Suelos intermedios:</b> Limos de baja compresibilidad Limos arenosos Limos arcillosos	90 a 150 153 a 190 190 a 250
<b>3.- Arenas:</b> Arenas poco densa Arena medianamente densa	95 a 192 204 a 397
<b>4.- Gravas:</b> Arenas mezcladas con gravas Gravas emparadas en arenas, limos o arcillas Gravas compactas (conglomerados).	326 a 570 463 a 753 696 a 1692

$R_t$  (Resistencia total) =  $R_p$  (Resistencia por punta) +  $R_f$  (Resistencia por fricción)

Resistencia por punta:

$$R_p = \pi \cdot r^2 (1.3 C' \cdot N'_c + \gamma \cdot D_f \cdot N'_q + 0.60 \gamma \cdot r \cdot N'_w)$$

(Fórmula corregida para el caso de corte local y punzonamiento)

Para  $\Phi = 28^\circ$ ,  $N'_c = 16$ ,  $N'_q = 6$ ,  $N'_w = 2$

$$C' = (2/3) C = (2/3) 15 = 10 \text{ Tm/m}^2,$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.07 \text{ Tm/m}^3 \text{ (arcilla r\u00edgida)} \\ D_f &= 26\text{m (Profundidad de la punta)} \\ R_p &= (3.14) (0.75)^2 [1.3 \times 10 \times 16 + 1.07 \times 26 \times 6 + 0.6 \times 1.07 \times 0.75 \times 2.0] \\ &= 1.767 (208 + 167 + 0.96) \\ &= 376 \text{ Tm} \end{aligned}$$

Resistencia por fricci\u00f3n:

$$R_f = C_a \cdot A_L$$

Aplicaremos un factor 0.63 a la adherencia

$$R_f = (3 \times .63) (2 \times 3.14 \times 0.75) \times 18 = 160 \text{ Tm}$$

$$R_t = 376 + 160 = 536 \text{ Tm}$$

$$\text{Coeficiente de seguridad} = \frac{536}{250} = 2.14 \dots \dots \dots \text{ok}$$

Los valores obtenidos por el m\u00e9todo est\u00e1tico son muy conservadores, pero nos sirven de referencia.

**i. C\u00e1lculo del pilote**

**Comprobaci\u00f3n del pilote (como columna de concreto armado a flexo-compresi\u00f3n)**

**Solicitaci\u00f3n de cargas:**

$$\begin{aligned} \checkmark \quad \text{Carga vertical de la superestructura} &= 250.00 \text{ Tm} \\ \checkmark \quad \text{Carga de peso propio del pilote} &= 8 \times 1.767 \times 2.4 = \underline{34.00 \text{ Tm}} \\ &= 284.00 \text{ Tm} \end{aligned}$$

$$\text{Se considera 10.00 m. de socavaci\u00f3n, 10.00 m. -2.00 m. de zapata} = 8.00 \text{ m.}$$

Tesis publicada con autorizaci\u00f3n del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

$$= 35.50 \text{ Tm}$$

✓ La carga horizontal de 35.5 Tm genera:

$$\text{Un momento } M = 35.5 \times 9 = 320 \text{ Tm-m}$$

**Diagrama de interacción. C3-60.8 del ACI HANDBOOK 318-95, según FIGURA**

**N° 09; Utilizando símbolos iguales al diagrama:**

✓  $h = 1.50$  (Diámetro del pilote)  $\gamma.h = 1.20$  (núcleo de concreto)

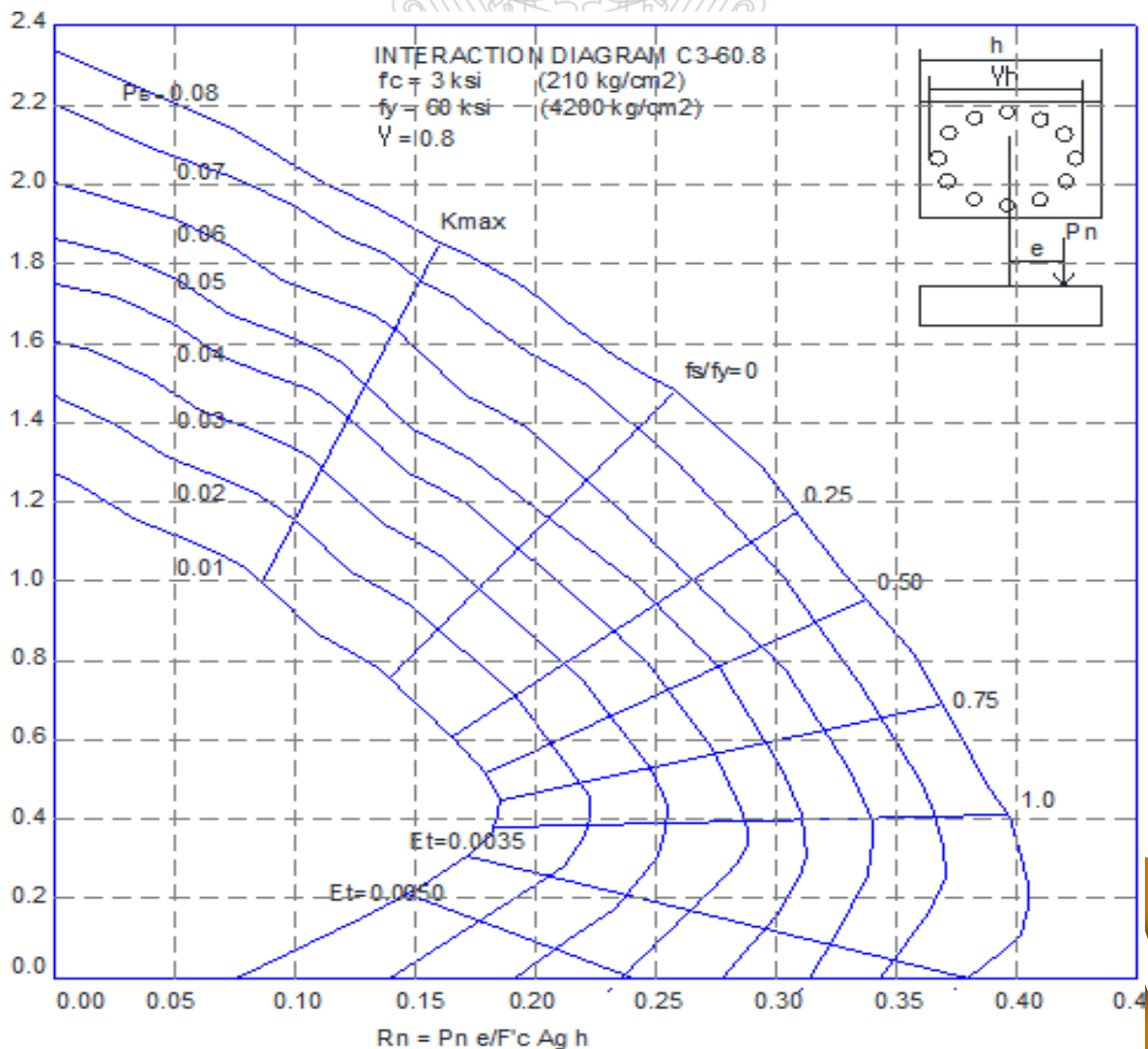
✓  $e =$  Excentricidad  $= 320/284 = 1.13$  m

✓  $R_n = P_n [e / f'_c \cdot A_g \cdot h] = 284,000 \times 113/210 \times 17,662 \times 150$

✓  $R_n = 0.06$

✓  $k_n = P_n / f'_c \cdot A_g = 284,000/210 \times 17,662$

✓  $k_n = 0.08$

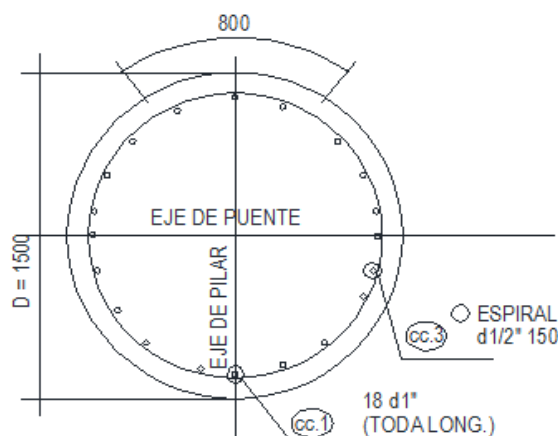
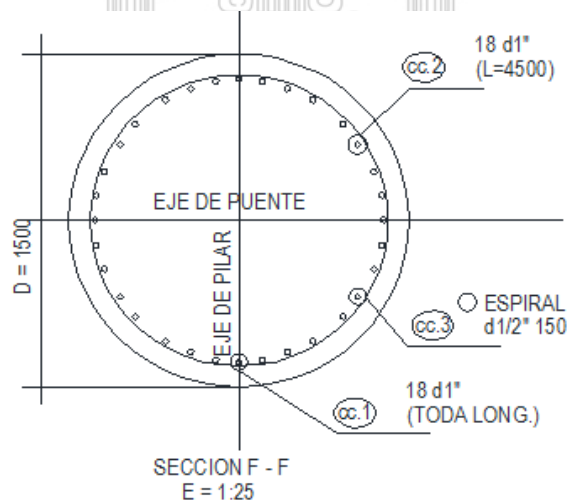


## Determinación del acero del pilote

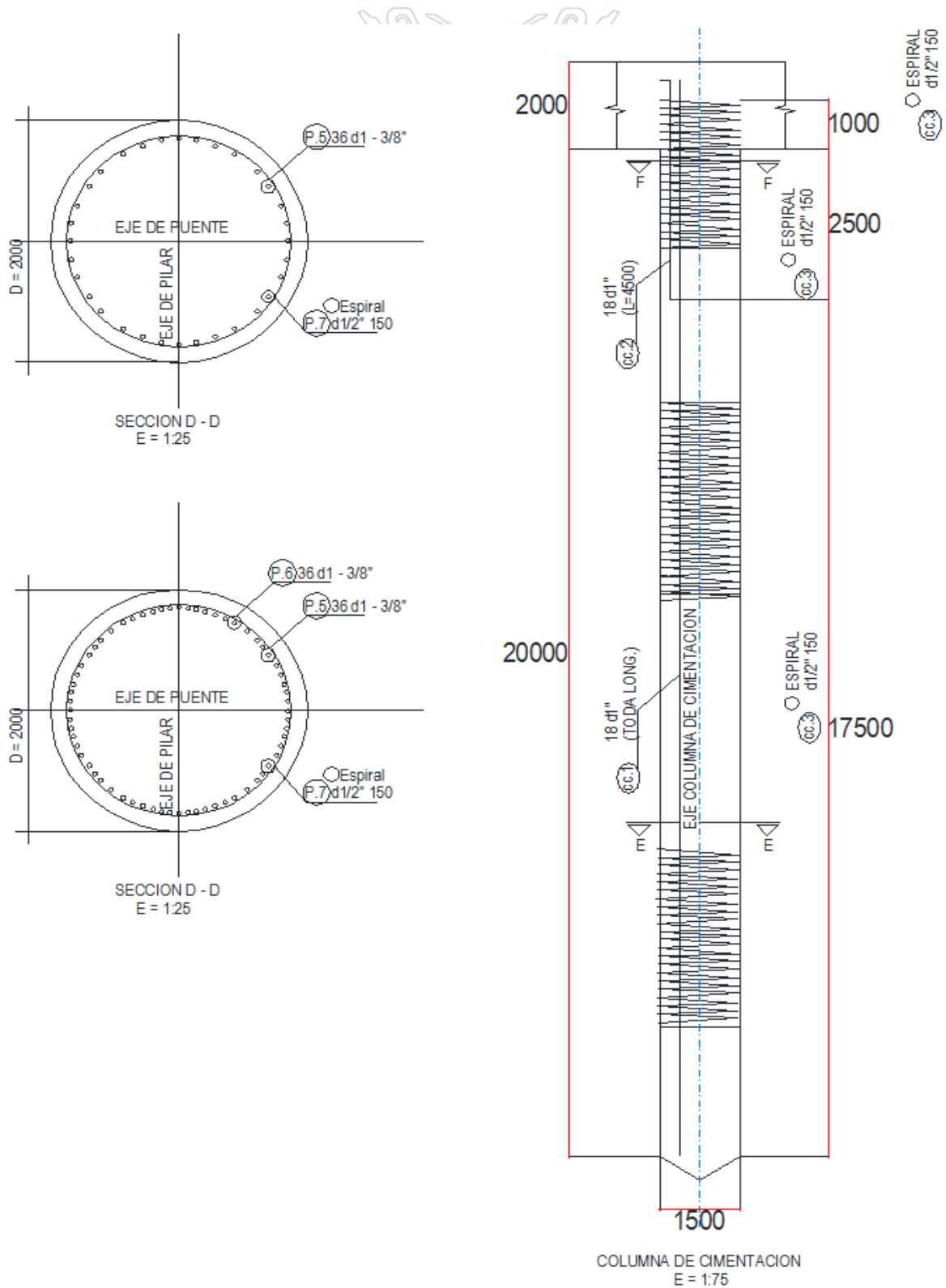
- ✓ Ingresando estos valores encontramos cuantía mínima de acero  $p = 1\%$ , por lo tanto:

$$A_s = 17,662 \times 0.01 = 176.00 \text{ cm}^2 (\text{Ø } 1'' = 5.06 \text{ cm}^2) \text{ resulta } 34.78 \text{ Ø } 1''.$$

- ✓ El proyecto ha considerado 36 Ø 1'', que corresponde a Ø 1'' @ 0.10mt (por lógica se utiliza una espiral de Ø ½'' @ 0.15 m.....ok)
- ✓ Este acero corresponde a la zona de momento, o sea una longitud de 9.00 m (varilla entera), luego se puede bajar el acero 50% (Ø 1'' @ 0.20 m. y espiral Ø ½'' @ 0.20)
- ✓ El proyecto considera 36 Ø 1'', 18 Ø 1'' en toda la longitud, y 18 Ø 1'' en los primeros 4.50 m.; además lleva zunchado con fierro de ½'', según los croquis siguientes:



**FIGURA N° 10**  
**SECCIONES TRANSVERSALES DEL PILOTE**



## FIGURA N° 11

### SECCIONES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES DEL PILOTE

#### j. Prueba de carga al pilote

#### ✓ Prueba de integridad

El pilote es muy grande para las clásicas pruebas de carga, aunque actualmente se han hecho pruebas de impacto usando masas movidas con explosivos; para este Proyecto se ha realizado la Prueba de Integridad denominada: Control de Calidad Tipo Integriti Texting – PIT, para uno de los pilotes (N° 18) cuyo resultado lo califican como pilote categoría A (Pilote en buen estado); esta prueba se hace con un acelerómetro que se coloca en la cabeza del pilote y se monitorea la señal de impacto proporcionada con un martillo manual, instrumentando las reflexiones resultantes en su propagación por el pilote.

#### ✓ Introducción

El probador de integridad de pilotes es una herramienta que califica la calidad de un pilote ya construido, y que permite al supervisor o propietario de la obra,

no destructivas, siendo una herramienta efectiva de aseguramiento de calidad para cimentaciones profundas.

Esta herramienta, conocida por la sigla en inglés como PIT (Pile Integrity Testing), es de muchísima utilidad como control de calidad, en la industria de la construcción, específicamente en la construcción de cimentaciones profundas y de uso rutinario a nivel mundial desde hace más de 20 años.

En nuestro medio hasta ahora se está introduciendo esta práctica dentro de las Normas de control de calidad o como un servicio externo dentro de las políticas de aseguramiento de calidad de las empresas de pilotaje.

✓ **Descripción del sistema**

El probador de Integridad de pilotes (PIT) se usa tanto para pilotes tipo pre excavado, hincados o de hélice continua, todos ellos de amplio uso en la práctica de ingeniería de cimentaciones profundas en nuestro medio. Detecta potenciales defectos o anomalías peligrosas, tales como fracturas mayores, estrechamientos o estrangulamientos, incrustaciones de suelos u oquedades, empleando para ello la Teoría de la Ecuación de Onda y Tecnologías de punta en pruebas de tipo no destructivas.

Estas pruebas no requieren de preparaciones especiales o tubos de acceso pre instalados, Esto lo hace una herramienta muy accesible cuando se cuestiona la integridad de pilas o pilotes.

En términos generales, de un acelerómetro que se coloca en la cabeza del pilote

que se quiere probar, se monitorea la señal de impacto proporcionado con un

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar este manual instrumentado y las reflexiones resultantes en su propagación por

**UNFV**

el pilote. La señal del acelerómetro es evaluada en campo o almacenada en una computadora personal para su posterior análisis.

La unidad del probador PIT es operada e interpretada por un ingeniero previamente entrenado.

El probador de Integridad de pilotes hace económicamente accesible el verificar la Integridad de los pilotes de una obra.

Las pruebas dinámicas de pilotes no son costosas, sin embargo, los problemas y las patologías de construcciones si lo son. El ingeniero residente, la interventoría, inversionista, no puede darse el lujo de simplemente “suponer” que su cimentación fue construida correctamente, sin llevar a cabo pruebas a través de un ensayo adecuado de control de calidad.

✓ **Características de la herramienta**

Corresponde a un equipo muy compacto y construido sin partes móviles y para condiciones duras de campo, fácilmente transportable hacia la obra y dentro de la obra por un pequeño maletín portátil, Permite ser operado por una sola persona. La consola está diseñada con pantallas al tacto con graficas de alta resolución y un menú sencillo que simplifica la captura de datos, hasta para usuarios nuevos.

Captura los datos con una resolución de 16 bits digitales, que puede detectar reflexiones muy débiles, reducidas por efecto o amortiguamiento del suelo. Después de la amplificación, la relación efectiva de L/D se aumenta, comparada con sistemas con menor resolución.

Realiza los análisis de velocidad de onda en el dominio del tiempo; incluye un

mejoramiento de los datos, mediante el promedio de señales, el filtrado y la amplificación de la señal, para ayudar con la interpretación. Adicionalmente mide

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar la fuente

**UNFV**

la fuerza con el martillo instrumentado, y los datos pueden ser transformados en el dominio de las frecuencias para análisis de movilidad de las señales.

La herramienta con el software anexo, permite calcular un perfil aproximado del pilote ya instalado y que se quiera probar. A través de su interface serial, la salida de datos puede ir directamente a un graficador tipo HP o una impresora convencional.

Permite el almacenamiento de datos para más de 350 pilotes o pilas, en una memoria activada por baterías, que permite realizar pruebas durante todo el día sin interrupción. Posteriormente los datos pueden ser almacenados permanentemente a través de una interface serial.

Esta prueba de Integridad de Pilotes se encuentra homologada por la Norma Americana ASTM-5882 y el Euro-Code, y se presentan como pruebas para asegurar la calidad de cimentaciones profundas con pilotes.

A nivel latinoamericano estas pruebas se ejecutan de forma rutinaria en México, Panamá, Venezuela, Colombia, Brasil, Argentina y Chile.

PRUEBA DE INTEGRIDAD DE PILOTES –PIT  
(Pile Integrity Testing)

CLASIFICACIÓN DE REGISTROS DE VELOCIDAD

SEGÚN EL

NATIONAL DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (NTD)

PILE DYNAMICS INC.

CATEGORÍA	RESULTADO
A	Pilote en buen estado
B	Pilote defectuoso
C	Posiblemente pilote defectuoso
D	Registro no concluyente

✓ **Reglamentación**

1. Transportation Research Board (1994), Record No. 1447 Washington D.C.
2. Rausche F., Likins G. and Kung S. (1992), Proceedings of the Fourth International Conference on the Application of Strees-Wave Theory to Piles, the Netherlands.
3. Links Grand Rausche (2000). Recent Advance and proper use of PDI Low Strain Pile Integrity Testing, Sixth International Conference on the Application of Strees-Wave Theory to Piles, Sao Paulo, Brazil.
4. ASTM (2000), Designation D 5882-00 “Standard Test Method for Low Strain Integrity Testing of Piles”.

PRUEBA DE INTEGRIDAD DE PILOTES – PIT  
 INFORMACIÓN GENERAL

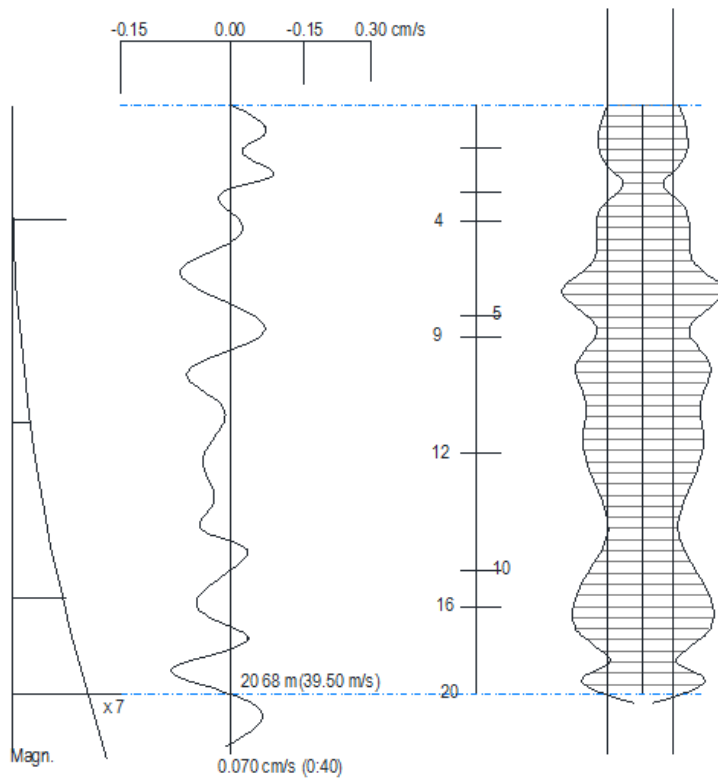
CONSTRUCCIÓN PUENTE ETÉN Y ACCESOS

Características del pilote ensayado: Pilote 18, Eje C

Tipo de pilote:		Dimensiones:	
Pilote pre-excavado:	x	Longitud (m):	20.00
Pilote hincado:		Diámetro (m):	1.50
Pilote de hélice continua:		Diámetro campana (m):	_____
Material:			
Concreto:	x	Resistencia $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ):	210

Mortero:		Refuerzo principal:	_____
Camisa metálica (recuperada):	x		

<b>Información particular durante construcción:</b>			
Volumen de concreto utilizado:	38.00	Edad del pilote:	30 días
m <sup>2</sup>		Desperdicio real:	2.34%
Volumen teórico del pilote:	37.11		
m <sup>2</sup>			



PILOTE 18 EJE C  
PRUEBA N° 01

REGISTRO DE  
**UNFV**  
VELOCIDAD

**Y**  
**RESULTADO**

**PRUEBA 1**

Resultados de la prueba de integridad:

**CLASIFICACIÓN DEL REGISTRO DE VELOCIDAD**

**Categoría A**

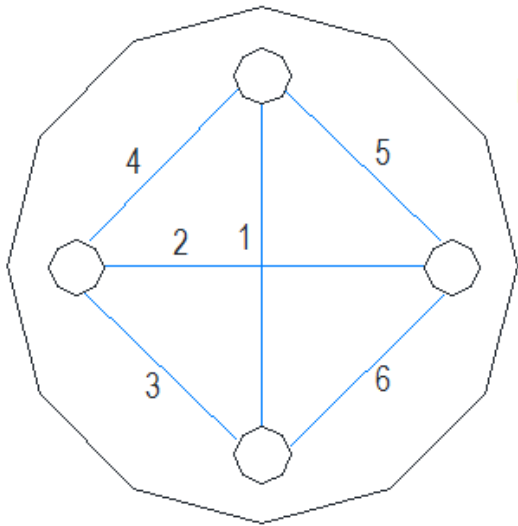
Pilote en buen estado. Aunque se pueden advertir ampliaciones y reducciones menores de impedancia a lo largo de todo el pilote, según se observa en el perfil de impedancia, se registra claramente la continuidad total del pilote.

**DESCRIPCIÓN Y/O OBSERVACIONES DEL REGISTRO DE VELOCIDAD Y FRECUENCIA**

Además de la reflexión en la base del pilote (aproximadamente 103 Hz), se presentan dos reflexiones importantes aproximadamente a 14.00 m. y 18.00 m. de profundidad.

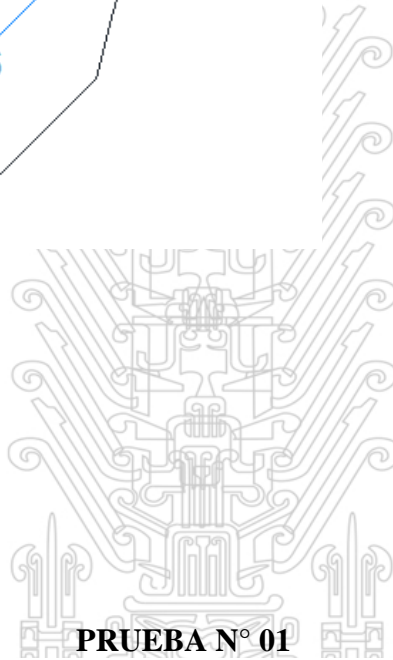
El análisis en el dominio de las frecuencias, indica frecuencias pico de 218, 149.2 y 91.8 Hz, asociadas a profundidades entre 9.4 y 18.4 m.

Los anteriores resultados se pueden asociar a variaciones en la impedancia del pilote ( $I=E*A/C$ ) que se puede interpretar en variaciones en la sección del pilote; en general se observa que las secciones ampliadas son mayores a las secciones con alguna reducción.

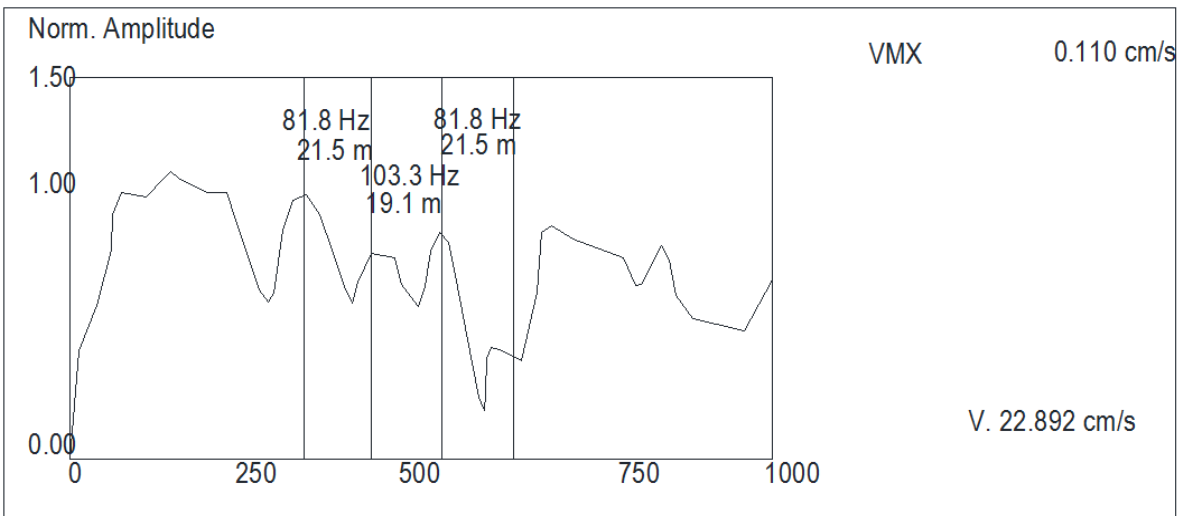


PILOTE 18

**UBICACIÓN DE PRUEBAS**



**PRUEBA N° 01**

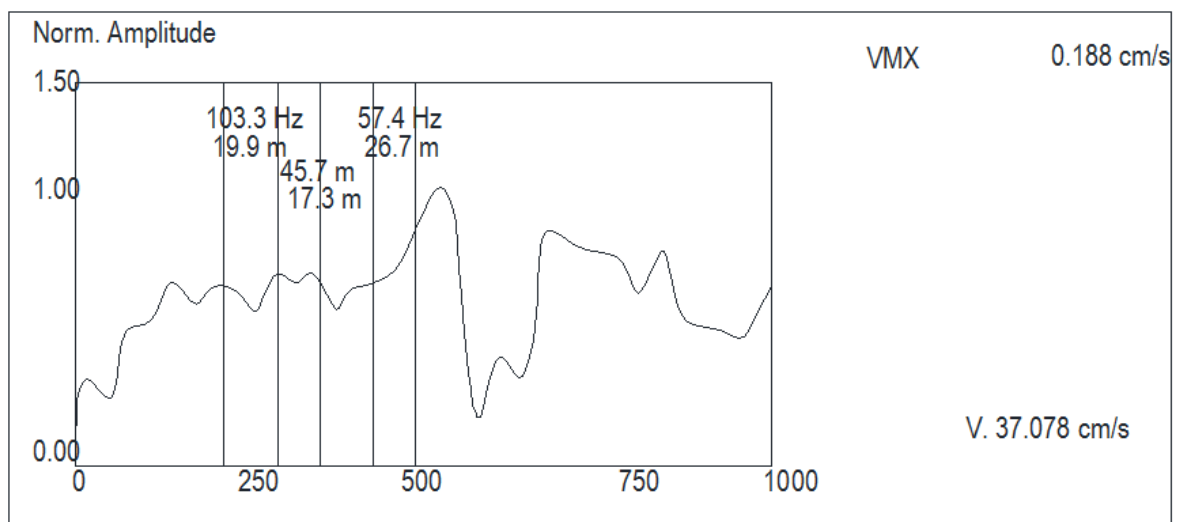
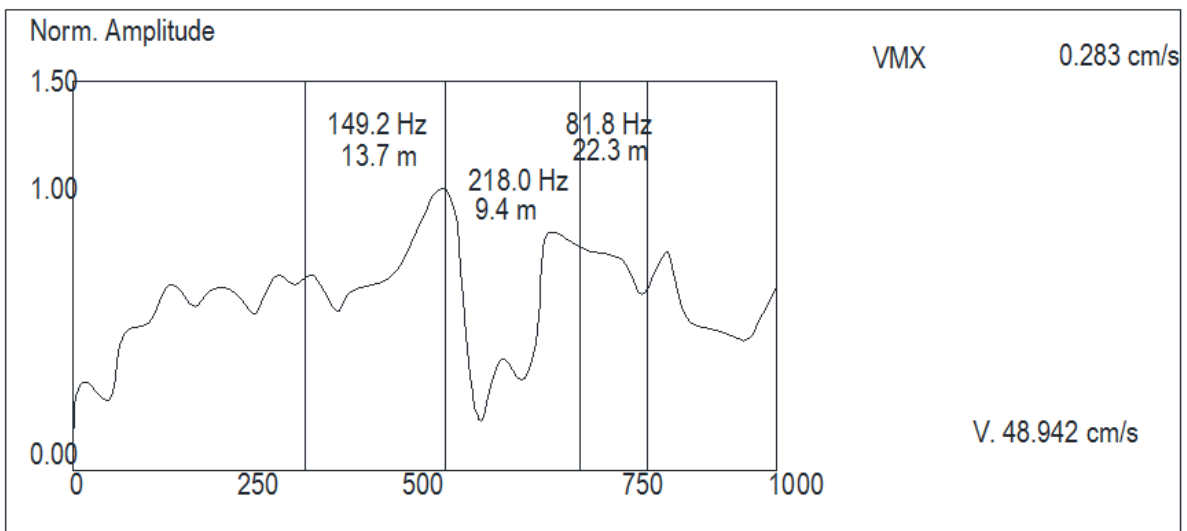


**PRUEBA N° 02**

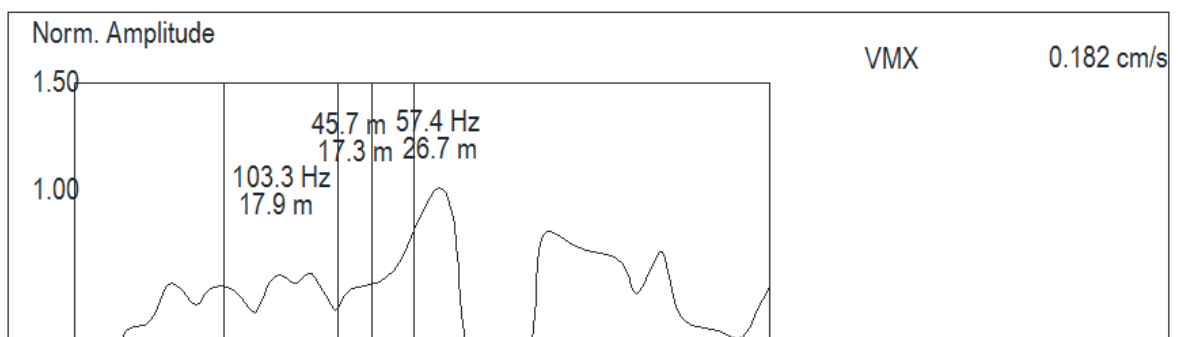
Tesi  
No



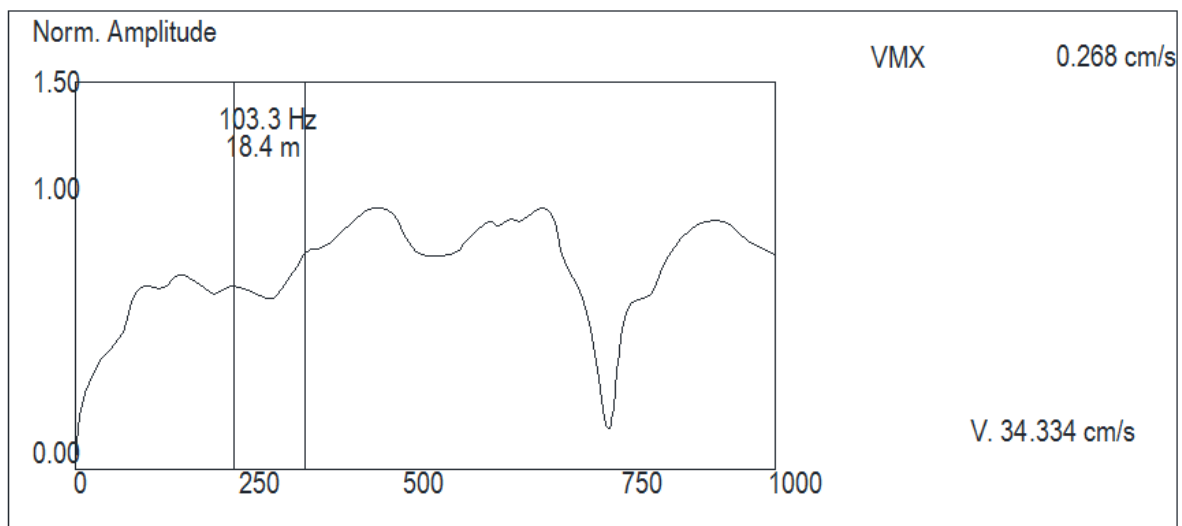
### PRUEBA N° 03



### PRUEBA N° 05



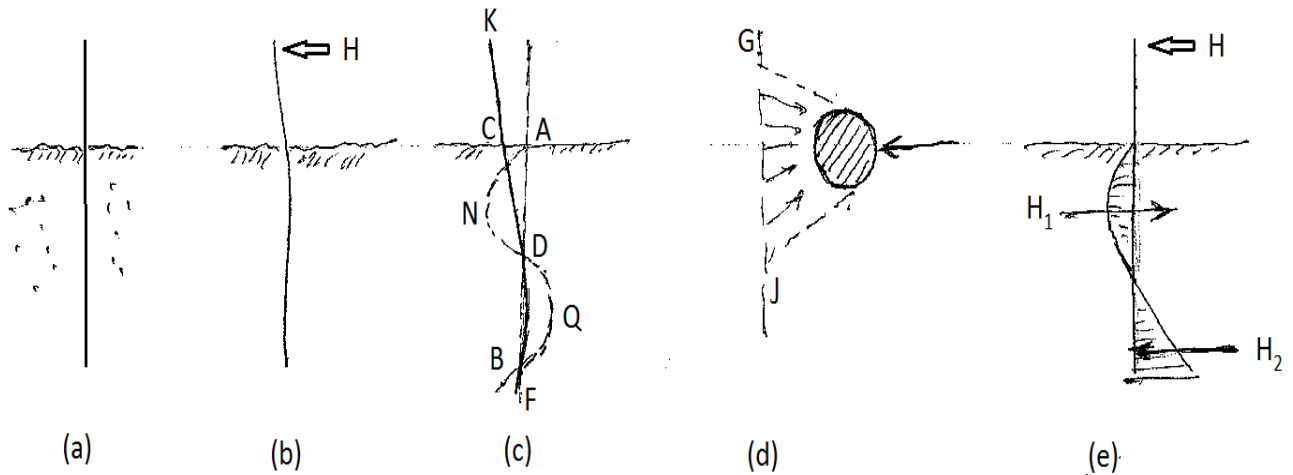
## PRUEBA N° 06



- ✓ Las estructuras siempre están sometidas a cargas horizontales (Ejemplo: sismo)
- ✓ La capacidad de carga horizontal de una estructura está limitada a la carga última del suelo o su “empuje pasivo”
- ✓ ¿Cómo se puede conocer la distribución de los empujes en la profundidad?  
¿Cuáles son los efectos de una carga horizontal en referencia a momentos, cortes, deformaciones, presión del pilote contra el suelo, etc.?
- ✓ Como dijo el Ing. Civil Clarence W. Dunhan, 1962. en Cimentaciones para estructuras: “...probablemente no es posible encontrar una solución exacta,

pero ha de existir un camino para estimar...” el problema de la interacción-suelo-estructura (ISE) es complejo y tridimensional.

✓ Algunos conceptos:



**FIGURA N° 12**

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PILOTE SOMETIDO A CARGA HORIZONTAL**

Donde:

a) Pilote antes de someterlo a carga lateral.

b) Pilote flexado por la carga lateral

c) CA = Desplazamiento

D = Punto de inflexión.

ANDQF = Curva de presiones pasivas.

d) G J, sería el ancho efectivo de la presión pasiva que actúa sobre el pilote:

mínimo ( $2\phi$ )

e) Para un pilote individual tipo “poste” se muestra el gráfico de presiones

pasivas

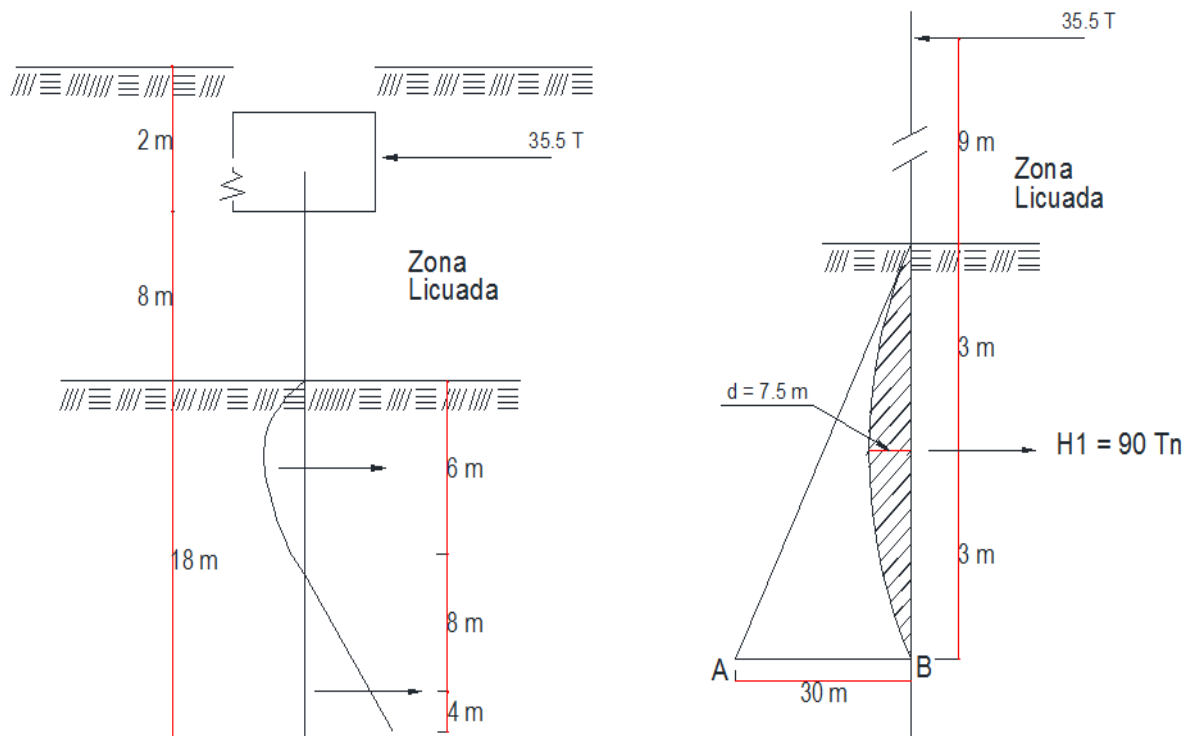
**Para la solución seguimos dos (02) criterios: Resistencia y Deformabilidad.**

✓ **Criterio de resistencia.**

El caso de un pilote individual rígido (poste): hasta la mitad o 1/3 resulta efectiva para la resistencia pasiva: a partir del punto de inflexión esta resistencia puede seguir en forma triangular (La presión pasiva se activa cuando el pilote tiende a deformarse)

**Ing. Civil Clarence W. Dunhan, 1962, Cimentaciones para estructuras,  
“Valores aproximados de la resistencia pasiva horizontal en T/m2 por metro de profundidad”**

DESCRIPCIÓN	HÚMEDA	SATURADA
Arena fina	0.40	0.33
Grava	6.80	5.20
Arcilla blanda	4.00	2.72
Arcilla densa	5.20	4.00



**FIGURA N° 13**

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PILOTE DEL PROYECTO**

- ✓ Para el tipo de suelo encontrado, optamos por un valor de:

resistencia pasiva =  $5.00 \text{ T/m}^2 \times \text{m. de profundidad.}$

AB =  $5.00 \times 6.00 = 30.00 \text{ T/m}^2$

valor en el centro =  $15.00 \text{ T/m}^2$

$H_1$  = área de la parábola

A =  $\frac{2}{3} \cdot d \cdot l$

A =  $\frac{2}{3} \times 7.5 \times 6$

= 30 T para una franja de 1 m. de ancho.

- ✓ Para el caso en estudio con  $\varnothing$  de 1.50 m. el ancho de masa resistente sería  $2\varnothing$ , ósea 3.00 m., luego:

H = 90 T

- ✓ Comprobación por momentos:

Tomando momentos desde el punto c =  $35.5 (8+6+9) - 90 (3+8)$   
 = 816.50 – 990.00

Resulta un factor de seguridad igual a =  $990.00 \div 816.50$

= 1.21..... ok

Este criterio es de concepto general y sirve como orientación básica.

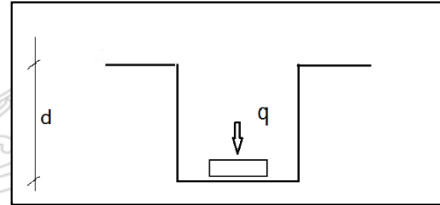


**Criterio de deformabilidad**

- ✓ Se usa el Modelo de WINKLER o “Módulo de Balasto”

## CONCEPTO DE MÓDULO DE BALASTO

- a. Se ejerce una presión “q” sobre una placa rígida de 1 pie<sup>2</sup> (30x30 cm) a una profundidad “d” hasta lograr una penetración (y) en el suelo, de 0.05” (0.127cm); esta deformación está dado por:  $y = (q/E) \cdot B (1-v^2) \cdot I$ .
- b. E = Coeficiente de elasticidad del suelo
- c. v = Coeficiente de Poisson.
- d. I = Coeficiente de forma y rigidez.  
(0.885 para placa cuadrada y rígida)
- e. B = Lado de la placa (30cm)
- f. q = Carga aplicada.
- g. d = Profundidad
- h. K = Coeficiente de Balasto =  $q/y = E/B (1-v^2) \cdot I = (\text{constante}) \cdot (E/B)$
- i. Si E aumenta con la profundidad z:  $K = (\text{constante}) \cdot (z/B)$



- ✓ La acción de una fuerza horizontal H o la de un momento M, en la cabeza del pilote de ancho B, produce un desplazamiento (y) y una reacción del suelo (P).
- ✓ El cociente  $P/y = x (E/B)$  puede ser evaluado en función de las características del suelo y del pilote.
- ✓ Usando la teoría de “Vigas sobre cimentación elástica” donde:  
$$E.I \quad d^4 y/dx^4 + K.y = 0$$
- ✓ El modelo se resuelve mediante fórmulas y gráficos:

### 1. Para suelos granulares (arenas y suelos densos) se define:

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

$$E_s = (\text{constante}) (z)$$

(a > profundidad aumenta el módulo de elasticidad del suelo)

$$K_h = n_h (z/B)$$

$K_h$  = coeficiente de reacción horizontal.

$n_h$  = constante de proporcionalidad de la reacción horizontal del suelo

$$n_h = f$$

En los gráficos de NAVDOCK; para un suelo denso

$$n_h = t/\text{pie}^3 = 0.96 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{Factor de flexibilidad relativa } T = (E.I / n_h)^{1/5}$$

$$\text{Coeficiente de profundidad } Z = z/T$$

$$\text{Resulta } T = ((5.39)^{12}/.96)^{1/5}$$

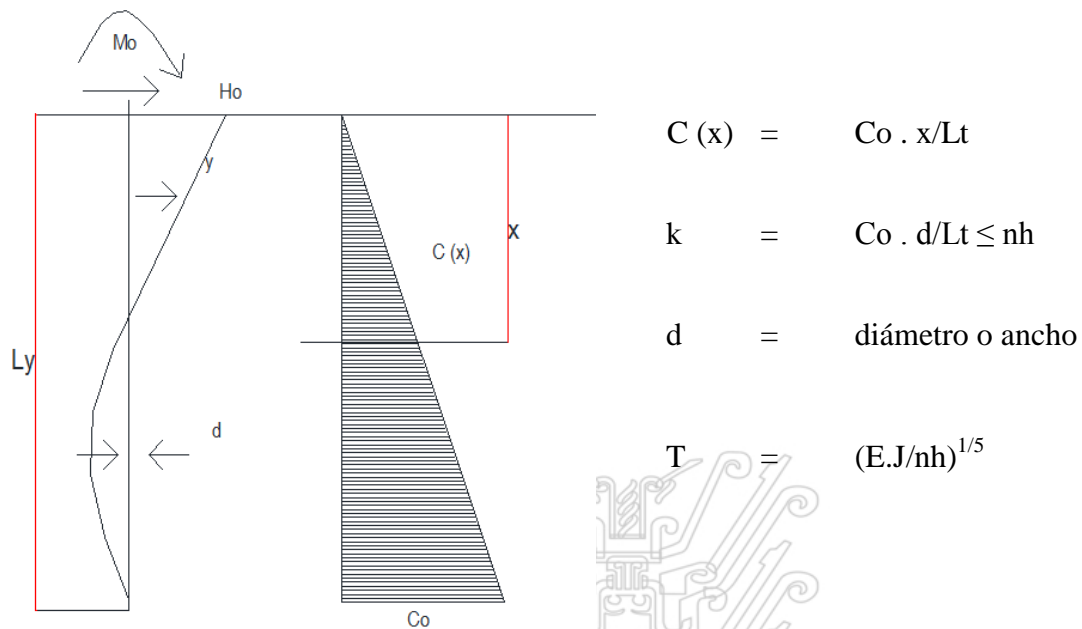
$$T = 355 \text{ cm}$$

Si  $L/T \geq 4.5$

El pilote se comporta como elemento flexible:  $26/3.5=8 > 4.5$  (pilote flexible)

El Ing. Civil Hudson Matlock y el Ing. Civil Lymon C. Reese, 1960, facilita el modelo WINKLER con fórmulas y tablas para este tipo de suelo.

Según Figura N° 14:



**FIGURA N° 14**  
**MATLOCK Y REESE**

**FORMULAS**

$T^5 = EJ/k$
$X = Z * T$
$y = Ay * (Ho * T^3) / EJ + By * (Mo * T^2) / EJ$
$\theta = As * (Ho * T^2) / EJ + Bs * (Mo * T) / EJ$
$M = AM * Ho * T + BM + Mo * T$
$Q = Av * Ho + Bv * M / T$
$Q = p * \delta = Ap * Ho / T + Bp * Mo / T^2$

$N_h$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	NO SUMERGIDA	SUMERGIDA
SUELTA	0.25	0.14
MEDIANA DENSA	0.74	0.54
DENSA	1.74	1.1

Z	Ay	As	AM	Av	Ap	By	Bs	BM	Bv	Bp0
0.00	2,435	-1,623	0,000	1,000	0,000	1,623	-1,750	1,000	0000	0,000
0.10	2,273	-1,618	0,100	0,989	-0,227	1,453	-1,650	1,000	-0007	0,145
0.20	2,112	-1,603	0,198	0,966	-0,422	1,293	-1,550	0,999	-0028	0,259
0.30	1,852	-1,578	0,291	0,906	-0,586	1,143	-1,450	0,994	-0058	-0,343
0.40	1,796	-1,545	0,399	0,840	-0,718	1,003	-1,351	0,987	-0095	-0,401
0.50	1,644	-1,503	0,459	0,769	-0,822	0,873	-1,253	0,976	-0137	-0,436
0.60	1,496	-1,454	0,532	0,677	-0,897	0,752	-1,156	0,960	-0181	-0,451
0.70	1,353	-1,347	0,595	0,585	-0,947	0,642	-1,061	0,939	-0226	-0,449
0.80	1,216	-1,335	0,649	0,489	-0,973	0,540	-0,968	0,914	-0270	-0,432
0.90	1,026	-1,268	0,693	0,392	-0,999	0,448	-0,878	0,885	-0312	-0,403
1.00	0,964	-1,197	0,727	0,295	-0,962	0,364	-0,792	0,852	-0350	-0,364
1.20	0,788	-1,047	0,767	0,109	-0,885	0,223	-0,629	0,775	-0414	-0,268
1.40	0,544	-0,893	0,772	-0,056	-0,761	0,112	-0,482	0,688	-0456	-0,157
1.60	0,381	-0,741	0,746	-0,193	-0,609	0,029	-0,354	0,594	-0477	-0,047
1.80	0,247	-0,596	0,696	-0,298	-0,445	-0,030	-0,245	0,498	-0476	-0,034
2.00	0,142	-0,464	0,628	-0,311	-0,283	-0,070	-0,155	0,404	-0456	0,140
3.00	-0,075	-0,040	0,223	-0,349	0,226	-0,089	0,057	0,059	-0213	0,268
4.00	-0,050	0,052	0,000	-0,406	0,201	-0,028	0,049	-0,042	0017	0,112
5.00	-0,009	0,020	-0,033	-0,513	0,046	-0,000	0,011	-0,026	0029	-0,002

Es posible encontrar para cualquier punto del pilote, desplazamiento, rotación,  
 Tesis publicada con autorización del autor  
 No olvide citar momento, corte y presión sobre el terreno.

Aplicando para los siguientes valores:

$$\text{Ancho o diámetro del pilote} = 1.50 \text{ m}$$

$$\text{Carga horizontal en la cabeza H} = 35.50 \text{ Tm}$$

$$\text{Socavación} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Momento a nivel de empotramiento} = M$$

$$M = 35.50 \text{ Tm} \times 9.00 \text{ m}$$

$$M = 320 \text{ Tm-m}$$

(10 - 1/2 espesor zapata igual 9m)

$$E = 217,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 24,850,000 \text{ cm}^4$$

$$EI = (5.39)^{1/12} \text{ kg-cm}^2$$

Según fórmula y tabla, la deflexión del pilote a nivel 0, resulta

$$y = A_y (H.T^3)/EI + B_y (M.T^2)/EI$$

$$y = 2.435(H.T^3)/EI + 1.623 (M.T^2)/EI$$

$$y = 0.71 + 1.20 = 1.91 \text{ cm}$$

valor que corresponde a “cabeza libre”.

Si consideramos que los pilotes están empotrados en un cabezal que no gira, es necesario anular la rotación del pilote en la cabeza con los valores para rotación de la tabla.

$$A_s/B_s = 1.623/1.75 = 0.93$$

siendo la nueva fórmula para el desplazamiento:

$$y = A_y (HT^3)/EI - B_y \cdot 0.93 (n) (HT^2)/EI$$

Donde

$$N = \text{Grado de empotramiento o de rotación restringida.}$$

Aplicando para pilote que no gira:

$$y = 0.71 - 1.623 (0.93) \times 32000000 \times (335)^2 / EI$$

$$y = 0.71 - 1.00$$

$$y = -0.29 \text{ cm}$$

con grado de empotramiento = 1 (Teórico)

## 2. Para suelos arcillosos se define:

Se define un factor de flexibilidad:

$$R = (EI/n_h \cdot B)^{1/4}$$

Se obtiene el valor de

$$n_h = \text{constante de proporcionalidad reacción horizontal del terreno}$$

$$B = \text{ancho del pilote}$$

$$R = ((5.39)12 / 0.96 \times 150)^{1/4}$$

$$R = 440 \text{ cm}$$

según tabla de M. T. Davisson, M. T. y H. L. Gill, 1963

$$H = 35.50 \text{ Tm}$$

$$R = 440 \text{ cm}$$

$$M = 320 \text{ Tm-m}$$

$$EI = (5.39)^{12} \text{ cm}^4$$

Aplicando con valores de las curvas (Figura N° 15 y 16)

$$\text{Para } z = 0, \quad A_y = 1.3, \quad B_y = 0.9$$

$$y = A_y (HR^3/EI) + B_y (MR^2) / EI$$

$$y = 1.3 \times 0.72 + 0.9 \times 0.36$$

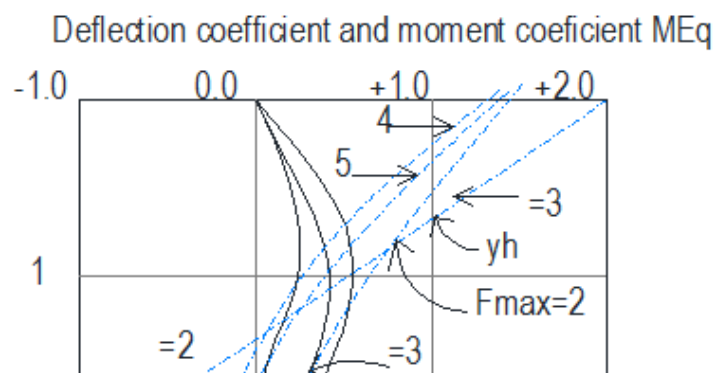
$$y = 0.93 + 0.32$$

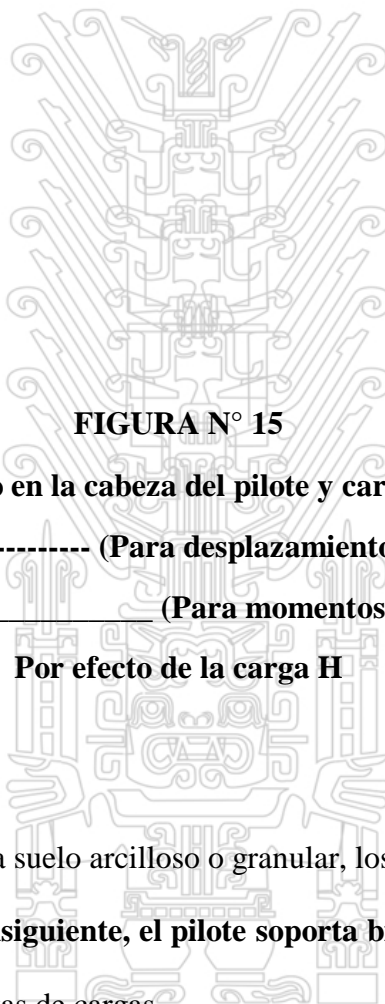
$$y = 1.25 \text{ cm}$$

Como el pilote esté empotrado en el cabezal y no gira, es necesario anular la rotación en la cabeza, con un determinado grado de empotramiento  $< 1$ .

Las fórmulas y gráficos permiten encontrar: desplazamiento, rotación, momento, corte, y esfuerzo sobre el suelo, en cualquier punto del pilote.

**COEFICIENTES PARA DEFORMACIÓN Y MOMENTO (K=cte.)  
DAVISSON Y HILL  
CABEZA LIBRE**





**FIGURA N° 15**

**Momento en la cabeza del pilote y carga cero**

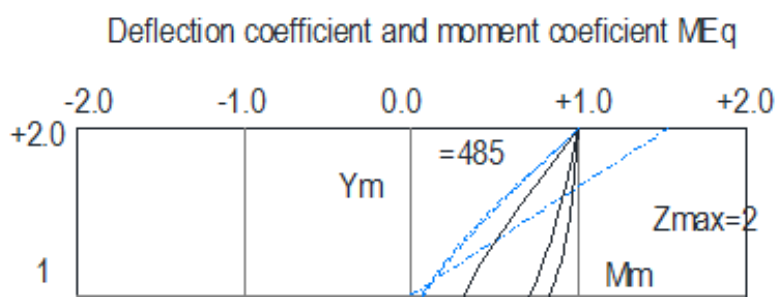
----- (Para desplazamiento)

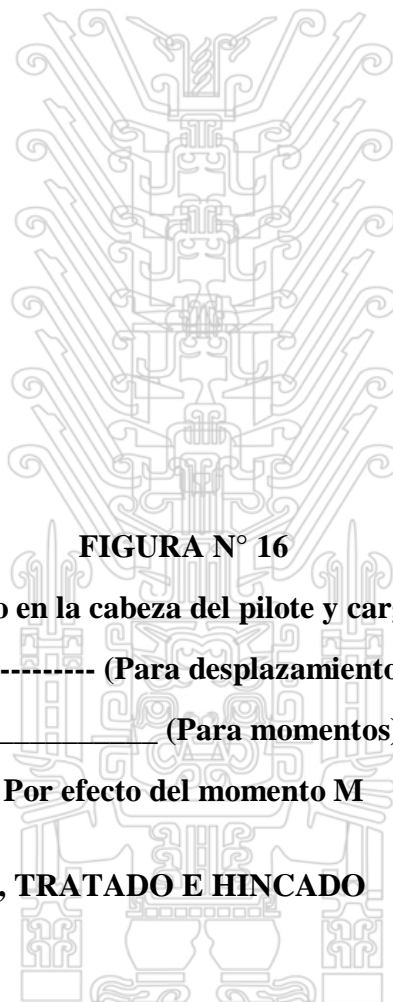
\_\_\_\_\_ (Para momentos)

**Por efecto de la carga H**

3. En ambos casos, sea suelo arcilloso o granular, los cálculos de deflexión resultan admisibles, **por consiguiente, el pilote soporta bien las cargas laterales**, en las condiciones supuestas de cargas.

**COEFICIENTES PARA DEFORMACIÓN Y MOMENTO (K=cte.)  
DAVISSON Y HILL  
CABEZA LIBRE**





**FIGURA N° 16**

**Momento en la cabeza del pilote y carga cero**

----- (Para desplazamiento)

\_\_\_\_\_ (Para momentos)

**Por efecto del momento M**

**4.1.3 PILOTE DE MADERA, TRATADO E HINCADO**

**a. Problema técnico a tratar**

Se trata de las zapatas de cimentación apoyada en pilotes para una edificación de servicios.

Se requiere instalar una red de torres metálicas atirantadas de comunicaciones en la selva baja de nuestro país. Por las condiciones de baja capacidad portante del suelo, se utilizará zapatas de cimentación por pilotaje, utilizando pilotes circulares de madera, Las torres de micro-ondas a tratar, tienen la altura suficiente para que la señal pase sobre la copa de árboles y su sostenimiento es a través de cables en tres direcciones.

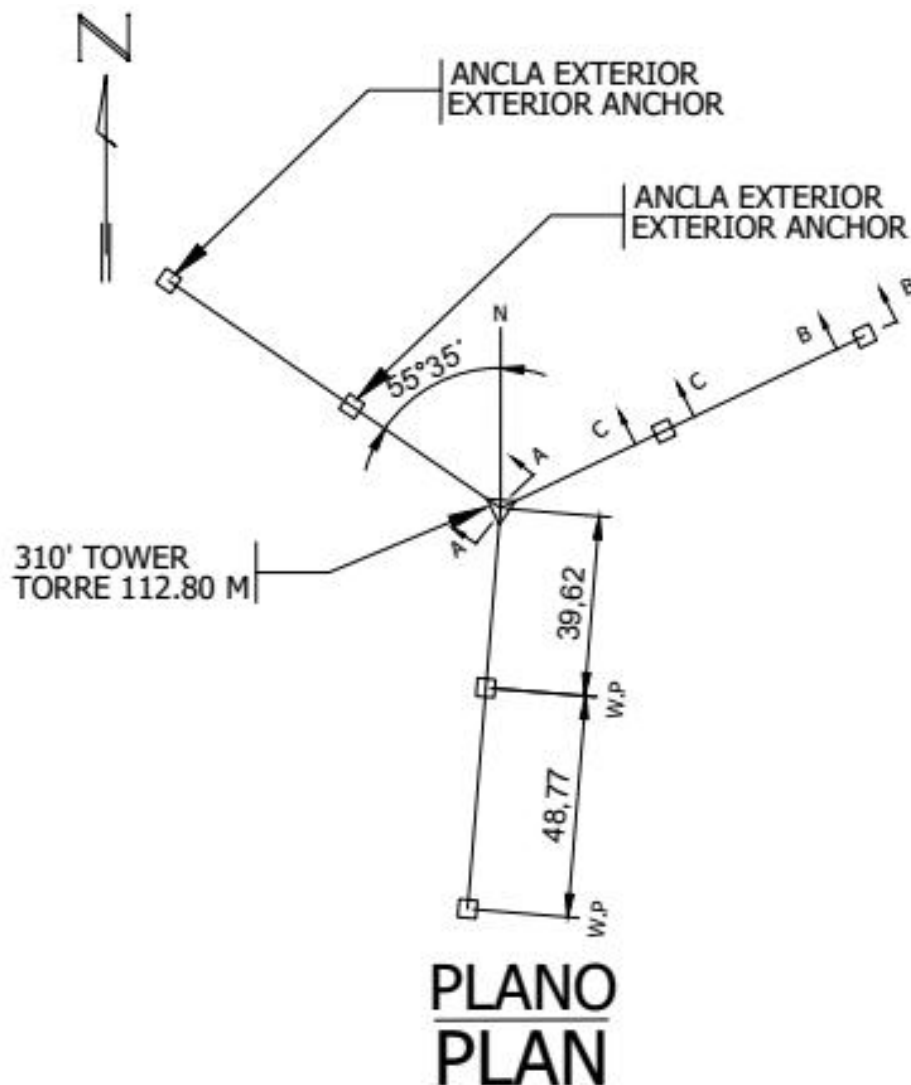
La exigencia del proyecto para los pilotes es **Timber Pile Class "A"** para la carga estructural de 20 Tm.

**b. Detalles generales a considerar**

**(Figura N° 01)**

Para el montaje antes señalado, se consideran los siguientes parámetros técnicos:

- ✓ La Tempestades eléctricas con rayos, ocasionan derribo de árboles, por lo que se requiere limpieza total de vegetación 40m. a cada lado de los cables instalados.
- ✓ La zona de obra se ubica en la margen izquierda del Rio Marañón (El rio tiene más de 600 m. de ancho), el suelo es arcilloso y se producen lluvias muy intensas.
- ✓ La zona de trabajo representa serias dificultades logísticas para su ejecución, razón por la cual, el planeamiento de los trabajos requiere precisión.



**Figura N° 01**

**TORRE METÁLICA + ANCLAJES**

En este croquis de detalle, se puede apreciar la torre en vista de planta, conjuntamente con los anclajes, tanto exterior como interior en las tres direcciones. También se observa que la torre está sustentada en una zapata central y los anclajes tanto exterior como interior en un total de seis zapatas, todas ellas aisladas

✓ Desde abril hasta agosto, el área de trabajo se convierte en agujal.  
 Tesis publicada con autorización del autor  
 No olvide citar esta tesis

- ✓ Se cubre totalmente por agua posiblemente hasta 1.00 m., que se deduce por la altura de las pocas viviendas de nativos.
- ✓ La ejecución de este trabajo ha requerido equipos pesados diversos, como son helicóptero, chata con empujador o remolcador, botes deslizadores con motor fuera de borda, motores para energía, equipos de iluminación, grúa, tractor de oruga con trineo de transporte, martillo Delmag-12, entre otros.
- ✓ Además, diversos equipos livianos como son: motosierras, motobombas, mezcladoras de concreto, vibradores, taladro de 1", etc, aparte de todo lo relacionado con campamento y servicios.
- ✓ Las torres en selva baja son estructuras de acero en celosía, con sección triangular de 1.30 m. de lado; arrostramientos horizontales cada metro y arrostramientos diagonales verticales en cada lado.
- ✓ La torre se apoya en la zapata de cimentación con una rótula y está sustentada por cables en 3 direcciones a 120° con 2 anclajes por dirección.

**c. Requerimientos técnicos de diseño**

- ✓ La torre metálica de comunicaciones, está formada por una sección triangular continua desde la base hasta la punta y tiene una altura final de 112.80 m., teniendo una rótula como apoyo en la base.

**(Figura N° 01)**

- ✓ La sección antes señalada es triangular de 1.30 m. por lado y está conectada a la cimentación, mediante un sistema tipo rótula que se apoya sobre un pilar de sección cuadrada.

**(Figura N° 02.a)**

- ✓ El pilar de sección cuadrada referido, arranca sobre una zapata cuadrada, según:

**(Figura N° 02.b)**

- ✓ La zapata cuadrada de concreto armado tiene de 2.70 m. x 2.70 m. y 0.90 m. de espesor y está apoyada sobre 9 pilotes verticales de madera, según:

**(Figura N° 02.c)**

La torre está sustentada por cables en 3 direcciones a 120° con 2 anclajes en cada dirección. Estos anclajes están referidos al anclaje exterior e interior, según:

**(Figura N° 01)**

- ✓ El anclaje exterior de cada cable, con ángulo vertical de 44°32.7', base y anclaje a 88.39m., zapata de 2.40 m. x 1.80 m. y 0.90 m. de espesor; lleva 4 pilotes inclinados 15°, en direcciones opuestas, según:

**(Figura N° 03.a)**

**(Figura N° 03.b)**

- ✓ El anclaje interior de cada cable, con ángulo vertical de 39°5.6', base y anclaje a 39.62m., zapata de 2.40 m. x 0.90 m. y 0.90 m. de espesor; lleva 2 pilotes inclinados 15°, en direcciones opuestas, según:

**(Figura N° 04.a)**

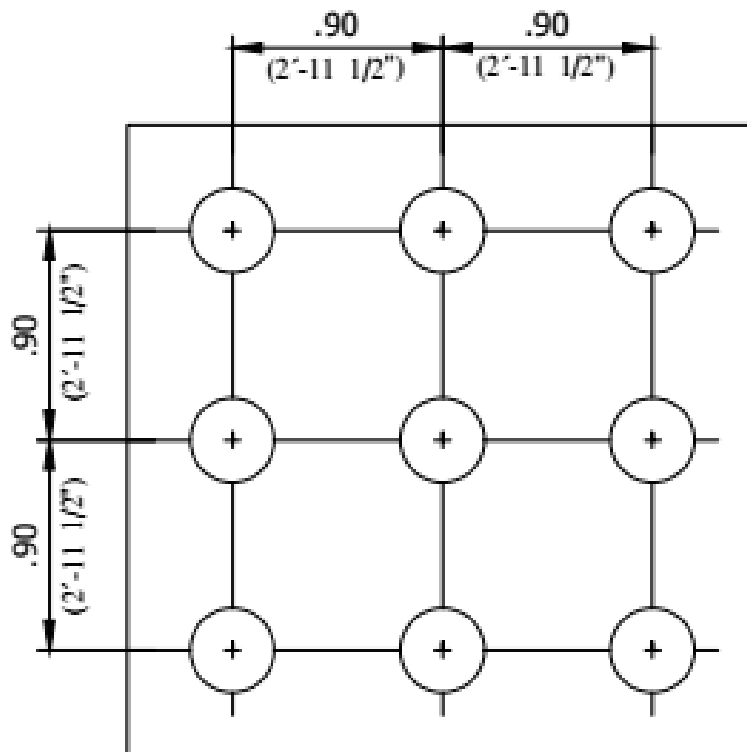
**(Figura N° 04.b)**

- ✓ La conectividad entre la zapata cuadrada y el pilote circular de madera es por medio de cables de acero de 20 mm. de diámetro, conectados por perforaciones, según:

**(Figura N° 05)**

- ✓ A continuación, presento los croquis de la torre con sus diversos componentes estructurales al detalle, según lo siguiente:





# PLANO DE BASE

# FOOTING PLAN

ESCALA 1:20 SCALE



Figura N° 02.c

## PILOTES

En estos croquis de detalle, se puede apreciar:

- (a) El pilar de conectividad entre la torre y la zapata,
- (b) El pilar y la zapata y
- (c) La zapata de planta sobre los 9 pilotes de soporte.

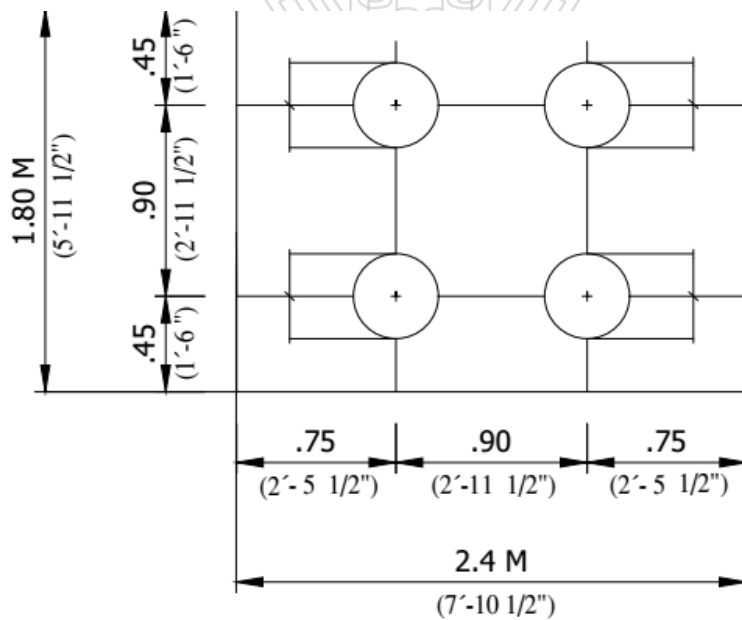
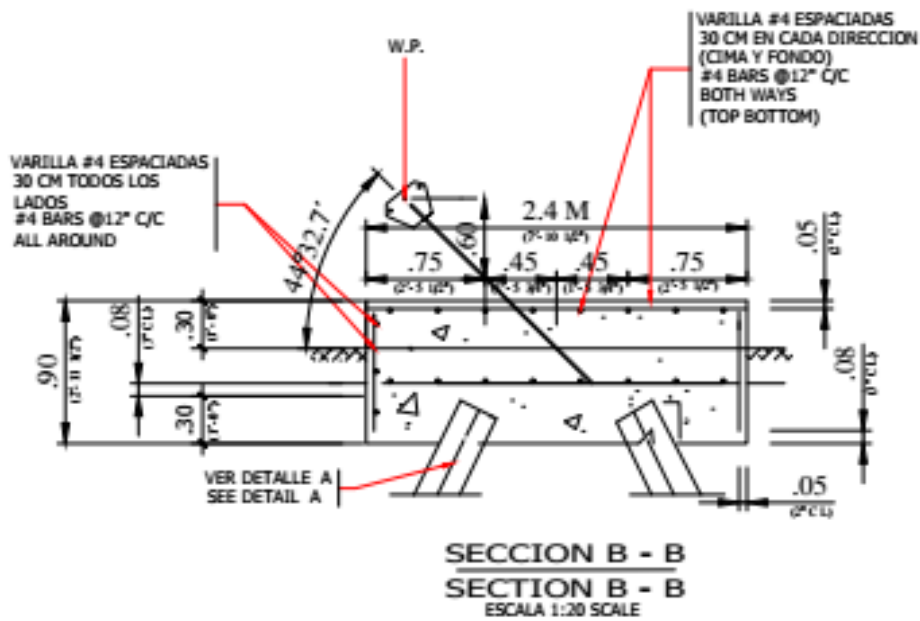


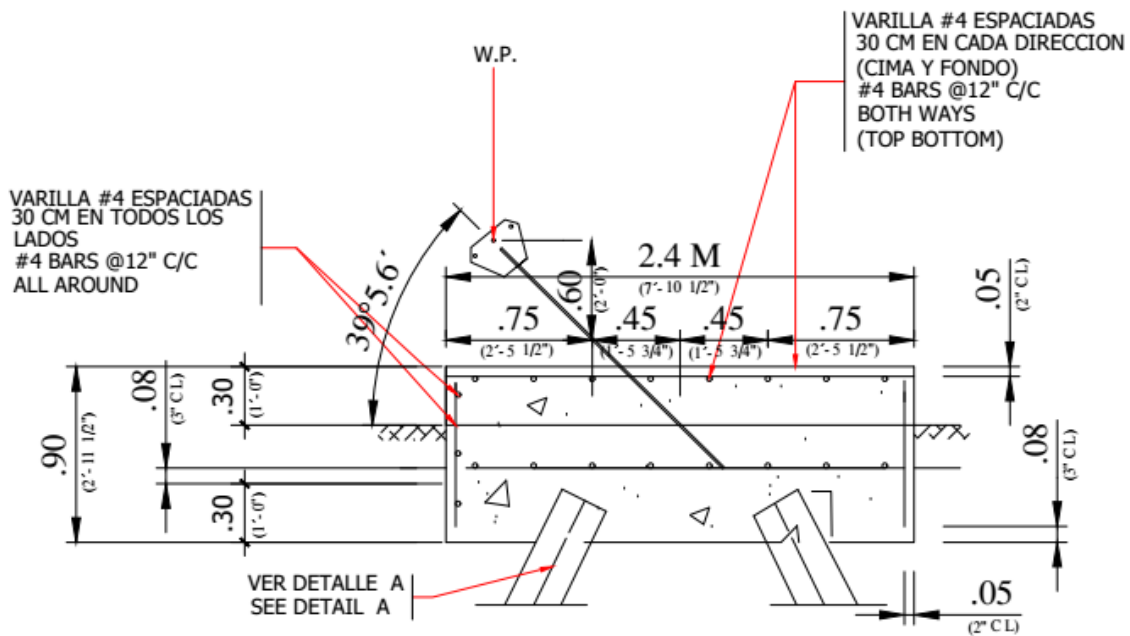
Figura N° 03 (a y b)

### ANCLAJE EXTERIOR: ZAPATA + PILOTES

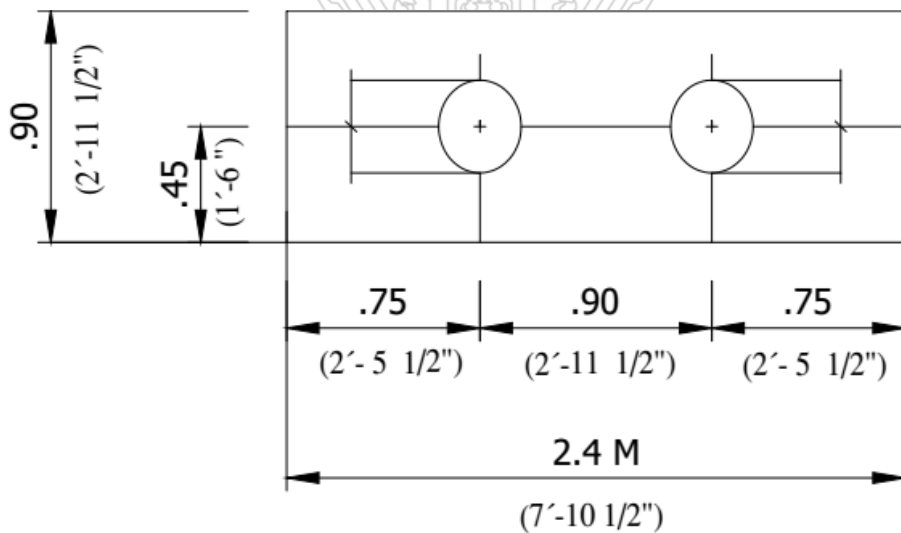
En estos croquis de detalle, se puede apreciar:

(a) el anclaje exterior de la torre y (b) La zapata de planta sobre los 4 pilotes de soporte.

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis



SECCION C - C  
SECTION C - C  
ESCALA 1:20 SCALE



PLANO DE LA ANCLA INTERIOR  
INTERIOR ANCHOR PLAN  
ESCALA 1:20 SCALE

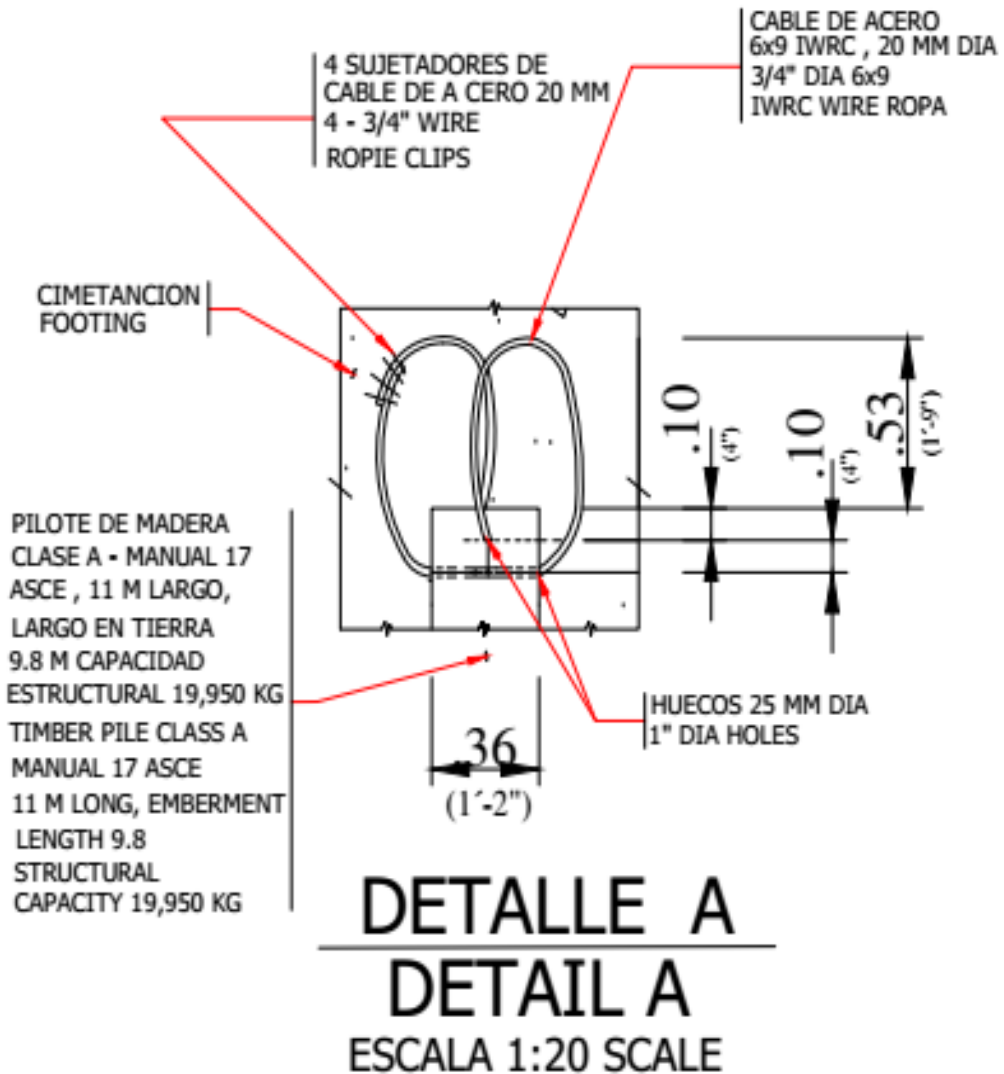
Figura N° 04 (a y b)

### ANCLAJE INTERIOR: ZAPATA + PILOTES

En este croquis de detalle, se puede apreciar (a) el anclaje interior de la torre, (b) la zapata de

Tesis publicada con autorización de la UNFV  
plantas sobre los 2 pilotes de soporte.  
No olvide citar esta tesis

UNFV



**Figura N° 05**

**CONECTIVIDAD ENTRE ZAPATA Y PILOTE**

En este croquis de detalle, se puede apreciar la conectividad entre la zapata y cada pilote. Se

hace con dos vueltas de cable flexible, que se introduce en dos perforaciones de Ø 1" a 90° y

diferente altura. Los extremos del cable se unen con 4 grampas de acero. Todo el sistema

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

queda embebido en el concreto de la zapata.

**UNFV**

#### **d. Consideraciones del suelo**

##### **Estudio de Mecánica de Suelos (EMS)**

- ✓ Para el caso se realizó el EMS en la localidad de San José de Saramuro, en la Región de Loreto; lugar de la selva baja, donde se inicia la red de torres.
- ✓ Para lo cual, se consultó el “EMS de Arnaldo Carrillo Gil & Asociados”
- ✓ Se hicieron dos perforaciones con resultados muy similares:
  - La primera capa de 0.10 m. de espesores un suelo de cultivo.
  - La segunda capa de 0.90 m. de espesor es una arcilla de color marrón rojizo de alta plasticidad, ligeramente compactada.
  - La tercera capa de 1.00 m. es una arcilla de color oscuro de características parecidas a la anterior, sólo que está sumergida en agua. El estrato tiene una clasificación SUCS “CL”, ver registro de sondajes:
- ✓ Otras perforaciones indican estratos de gran espesor (en zona de selva alcanzan 2km) de suelo arcilloso y arcillo-limoso; por tal razón se espera que la hinca se realice sin problemas, inclusive será necesario empalmar para lograr el rechazo.
- ✓ Todo el pilotaje es flotante, sólo hasta alcanzar el rechazo previsto.

#### **e. Características exigidas para el pilote de madera.**

- ✓ Se requieren pilotes de madera con las especificaciones siguientes
  - ✓ Pilote Clase "A" (Manual 17 ASC)
    - + Round Timber Piles, actualizado ASTM D25-99(2005)
    - + U.S.D.A. Wood Handbook N°72
  - ✓ De dimensiones siguientes:
    - + Largo = 40'
    - + Diámetro en cabeza = 14"-18"

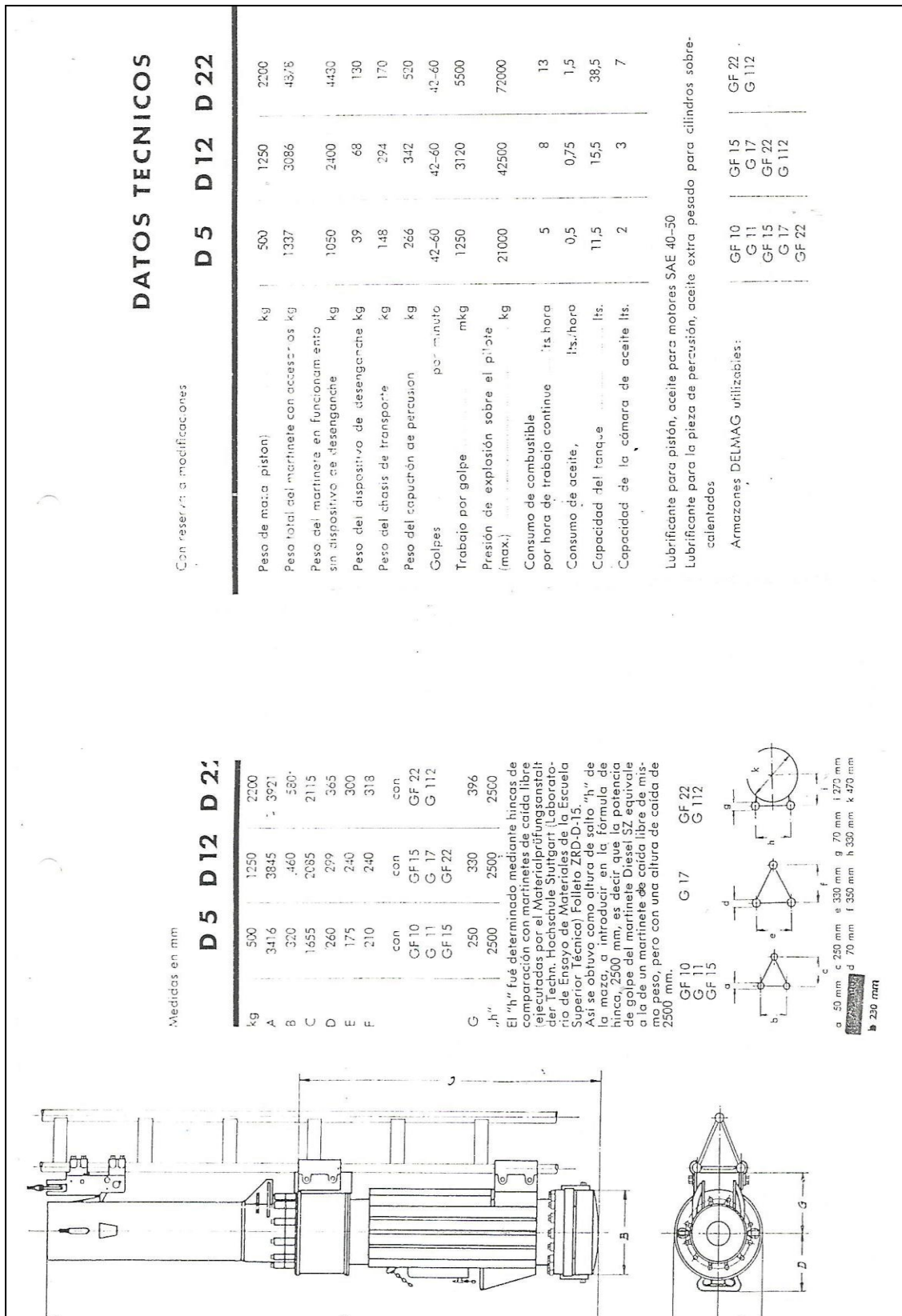
+ Diámetro en punta mínimo = 12"

- ✓ La norma indica otros aspectos como: distancia entre nudos, derecha, densidad, etc.
- ✓ Todos los pilotes de madera serán tratados con el proceso Osmose K-33
- ✓ El tope del pilote, para la hincada, será debidamente protegido con capuchones
- ✓ El hincado empezará por el pilote al centro del grupo y proseguirá hacia fuera.
- ✓ Para la hincada se empleará un martinete marca DELMAG, modelo D-12



**Figura N° 06**

**MARTILLO DELMAG D-12**



## f. Provisión de pilotes

### Requerimiento técnico específico

- ✓ Madera que cumple la clase "A" (ASTM) son las coníferas y sólo se encuentra en USA y Canadá, tales como Abeto Douglas y el Pino Sureño.
- ✓ En Perú, la madera “capirona” es la que cumple la norma.

### Pilote de madera “Capirona”

(Maderas y Bosques de Lucas A. Tortorelli, 2009)



CAPIRONA
<b>DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA</b>
La distribución de la especie fue obtenida de la literatura y de reportes de herbario, se encuentra en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Madre de Dios, Loreto y Ucayali, entre 0 y 1000 msnm. La especie crece en comunidades denominados "capironales", existe en regulares cantidades en la Amazonía del Perú.
<b>ÁRBOL</b>
Alcanza 35 m. de altura total y 0.70 m. a 1.80 m. de diámetro a la altura del pecho. Presenta tronco de fuste recto cilíndrico. La corteza externa es de color marrón verdoso que al desprenderse en placas coriáceas expone el tronco blanco grisáceo por ello también se le conoce como "palo mulato".
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA</b>
<b>COLOR</b> El tronco recién cortado presenta las capas externas de la madera (albura) de color blanco cremoso y las capas internas (duramen) de color blanco pardo con vetas de color marrón claro, observándose entre ambas capas muy poco contraste en el color. En la madera seca al aire la albura se toma de color blanco HUE 8/2 2.5Y y el duramen se toma a amarillo HUE 8/6 10YR. (Munsell Soil Color Charts).
<b>OLOR NO DISTINTIVO.</b>
<b>LUSTRE</b>
<b>BRILLO MEDIO.</b>
<b>GRANO RECTO A LIGERAMENTE ENTRECruzADO.</b>
<b>TEXTURA FINA.</b>
<b>VETEADO O FIGURA: JASPEADO TENUE, BANDAS PARALELAS.</b>

<b>CAPIRONA</b>
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>
Densidad básica 0.76 g/cm <sup>3</sup> . Contracción tangencial 9.00 % Contracción radial 5.00 % Contracción volumétrica 15.00 % Módulo de rotura en flexión 723.00 kg/cm <sup>2</sup> Compresión paralela (RM) 283.00 kg/cm <sup>2</sup> Compresión perpendicular (ELP) 67.00 kg/cm <sup>2</sup> Corte paralelo a las fibras 87.00 kg/cm <sup>2</sup> Dureza en los lados 425.00 kg/cm <sup>2</sup> Tenacidad (resistencia al choque) 2.00 kg-m
<b>RECOMENDACIONES TÉCNICAS</b>
Madera moderadamente fácil de aserrar y de buen comportamiento a la trabajabilidad. Al secado artificial se comporta en forma regular, requiere un programa suave para evitar los riesgos de agrietamiento. Tiene buena resistencia al ataque biológico, no requiere preservación, madera durable, especialmente en elementos fuera del contacto con el suelo.
<b>CONSIDERACIONES PARA EL PILOTE DE MADERA "CAPIRONA"</b>
Se requiere tratar la madera antes de su colocación a fin de mantener sus características. Todos los troncos (pilotes) deberán ser previamente revisados uno por uno. Para el proceso, se han seguido las recomendaciones de (AWPA) American Wood Preserver's Association, las cuales han consistido en: El tronco entra completo a la autoclave; vacío inicial 550 mmHg (milímetro de mercurio) durante 30 minutos y luego curado a presión, presiones de 7 a 15 kg/cm <sup>2</sup> ; el preservante a 95°C, concentración 12 kg/m <sup>3</sup>

Figura N° 08 b

## MADERA CAPIRONA

### b. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

**g. Solicitación de cargas**

**Zapata central**

- ✓ Numero de pilotes = 09 pilotes
- ✓ Cargas fijas:
- ✓ Peso torre metálica =  $92 \text{ kg/ml} \times 112.8 = 7.00 \text{ Tm}$
- ✓ Peso de la zapata =  $2.7 \times 2.7 \times 0.9 \times 2.4 = \underline{16.00 \text{ Tm}}$
- = 26.30 Tm
- ✓ Con factor de carga fija =  $26.3 \times 1.4 = 36.80 \text{ Tm}$
- ✓ Sobrecarga vertical por carga de viento:
- ✓ Esta fuerza adicional corresponde a la resultante vertical de cada cable; cada uno soporta la mitad de torre
- Considerando un viento máximo de  $150 \text{ km/h} = 200 \text{ kg/m}^2$
- en dirección de un solo cable, el impacto sobre la torre con área de  $0.85 \text{ m}^2/\text{m}$
- es:
- ✓ Del cable exterior:  $(200 \times 0.85 \times 56.4) \text{ tg. } 44^\circ 32'$  = 9.3 Tm
- ✓ Del cable interior:  $(200 \times 0.85 \times 56.4) \text{ tg. } 39^\circ 5.6'$  = 7.8 Tm
- = 17.1 Tm
- ✓ Con factor de carga de viento:  $17.1 \times 1.25 = 21.4 \text{ Tm}$
- ✓ **Total de carga vertical** = **36.8 + 21.4**
- = **58.2 Tm**

Carga vertical por pilote =  $58.2 \div 9$

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

= **6.5 Tm.**



### Anclajes exterior e interior

- ✓ Para la tracción máxima en los anclajes se considera las condiciones de viento indicadas anteriormente.

#### Anclaje exterior

- ✓ Tensión del cable de arranque de zapata.

$$= 200 \times 0.85 \times (112.8/2) / \cos 44^{\circ}32'$$
$$= 13.5 \text{ Tm}$$

- ✓ Con factor de carga de viento

$$= 13.5 \times 1.25$$
$$= 16.8 \text{ Tm}$$

- ✓ N° de pilotes/anclaje

$$= 4 \text{ un.}$$

- ✓ Carga de extracción por pilote

$$= 16.8 \text{ Tm} / 4$$
$$= 4.2 \text{ Tm}$$

#### Anclaje interior

- ✓ Tensión del cable de arranque de zapata.

$$= 200 \times 0.85 \times (112.8/2) / \cos 39^{\circ}5'$$
$$= 12.4 \text{ Tm}$$

- ✓ Con factor de carga viento

$$= 12.4 \times 1.25$$
$$= 15.5 \text{ Tm}$$

- ✓ N° de pilotes/anclaje

$$= 2 \text{ un.}$$

- ✓ Carga de extracción p/pilote

$$= 15.5 \text{ Tm} / 2$$
$$= 7.75 \text{ Tm}$$

### Resistencia a la extracción de pilotes en anclajes exterior e interiores

$$R = C_a \cdot A_L$$

$C_a$  = Coeficiente de adherencia (Ver Figura N° 09)

$$= 2.00 \text{ Tm} / \text{m}^2 \text{ (arcilla suave y limo)}$$

$A_L$  = Área lateral del pilote [pilote Ø 12", L ( $D_f$ )= 12 m.]

$$= (3.14) (0.3048) (12 \text{ m})$$

$$= 11.48 \text{ m}^2$$

$$R = 2 \times 11.48$$

$$= 23 \text{ Tm}$$

El pilote soporta fuerza de extracción mayores que las necesarias en los anclajes.

TIPO DE SUELO	FRICCIÓN LATERAL	
	Tm/m <sup>2</sup>	
Arcilla suave y limo	1.0 – 2.0	
Limo arenoso	2.0 – 5.0	
Arcilla rígida	4.0– 10.0	
Arena suelta	2.0 – 3.0	
Arena densa	3.0 – 10.0	

**Figura N° 09**

Para arcilla suave y limo, se considera entre los valores de 1.00 – 2.00 Tn/m<sup>2</sup>

## **h. Capacidad de carga del pilote por método estático para suelos cohesivos:**

Se utilizará los dos métodos siguientes para comparación de resultados:

✓ **Por Formula de Terzaghi (Figuras N° 10 y 11)**

Se adjunta calculo debidamente detallado

✓ **Por Formula NAVFAC (Figura N° 12)**

Se adjunta calculo debidamente detallado

### **h.1 Fórmula de Terzaghi:**

#### **CRITERIOS PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE UN PILOTE**

Existen dos procedimientos básicos para estimar la carga última, y en consecuencia, la carga de trabajo, que puede soportar un pilote.

- 1.- Método estático.
- 2.- Método dinámico.

El método estático considera la resistencia por apoyo de la punta y la resistencia por fricción en la superficie lateral del pilote; es decir:

$$R_t = R_p + R_f$$

En donde:

$R_t$  = Resistencia total última del pilote.

$R_p$  = Resistencia última por apoyo en la punta.

$R_f$  = Resistencia última por fricción en la superficie lateral del pilote.

El Ing. Karl Terzaghi, ha propuesto las siguientes expresiones para calcular  $R_p$  y  $R_t$ , o sea la capacidad última de carga de los pilotes por cuanto al suelo se refiere.

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

Para el cálculo de  $R_p$  se tiene:

1.- Para pilotes cuadrados:

$$R_p = B^2 (1.3C \cdot N_c + r \cdot D_t \cdot N_q + 0.4 r \cdot B \cdot N_r).$$

2.- Para pilotes circulares:

$$R_p = \pi \cdot R^2 (1.3C \cdot N_c + r \cdot D_f \cdot N_q + 0.60 \cdot r \cdot R \cdot N_r)$$

$B$  = Lado de la sección transversal cuadrada del pilote en metros

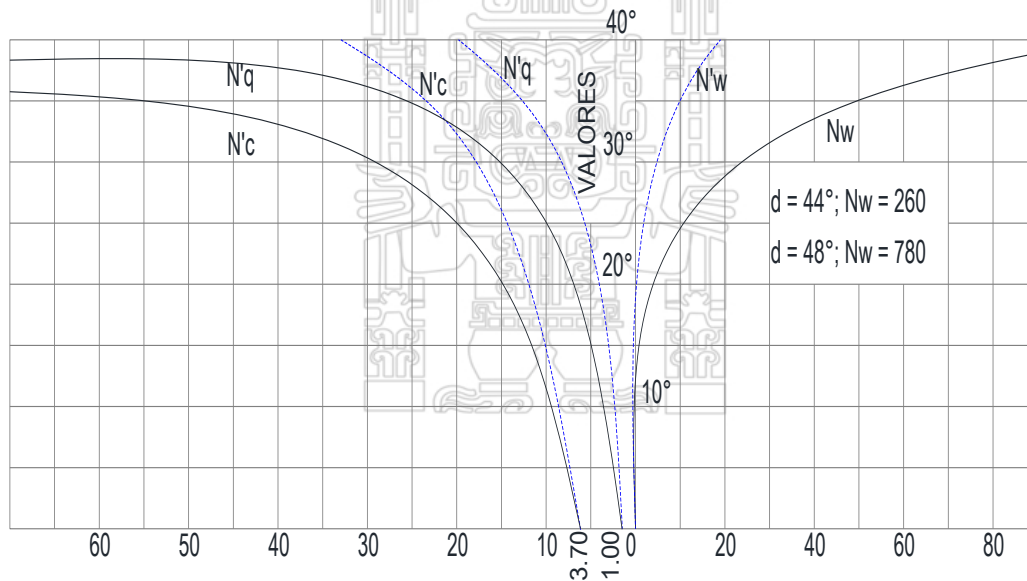
$R$  = Radio de la sección transversal circular del pilote, en metros.

$C$  = Cohesión del terreno,  $Tm/m^2$ .

$D_t$  = Profundidad de la punta del pilote con respecto a la superficie del terreno, en metros.

$r$  = Peso volumétrico del suelo en  $Tm/m^3$ .

$N_c, N_q$  y  $N_w$  Factores que dependen del ángulo de fricción interna.



Factores de capacidad de carga para aplicación de la teoría de Terzaghi.

DESCRIPCIÓN DEL SUELO	PESOS VOLUMÉTRICOS		
	SECO	SATURADO	SUMERGIDO
	$\gamma_s$ , en Tm/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ , en Tm/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sum}$ , en Tm/m <sup>3</sup>
Grava húmeda	1.70	2.00	1.00
Arena uniforme suelta	1.43	1.89	0.89
Arena uniforme densa	1.75	2.09	1.09
Arena graduada suelta	1.59	1.99	0.99
Arena graduada densa	1.89	2.16	1.16
Material de acarreo, muy bien graduado	2.12	2.32	1.32
Arcilla suave		1.77	0.77
Arcilla rígida		2.07	1.07
Arcilla orgánica suave		1.58	0.58
Arcilla orgánica muy suave	1.00	1.43	0.43
Bentonita suave		1.27	0.27

FACTORES DE CAPACIDAD PORTANTE PARA CONDICIONES GENERALES DE CORTE			
d	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	N <sub><math>\gamma</math></sub>
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	25.2	19.7
34	52.6	36.5	35.0
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.5
48	258.3	287.9	780.1
50	347.5	415.1	1153.2

Relación de  $\Phi$  con los valores de N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> y N<sub>w</sub>, según Terzaghi

Figura N° 11

Resistencia total =  $R_t$

$R_t = R_p$  (Resistencia por punta) +  $R_f$  (Resistencia por fricción)

$R_p$  (Resistencia por punta):

Parámetros para suelo de limo y arcilla suave (CL):

$C =$  Cohesión  $= 2.50 \text{ Tm/m}^2$

$C_a =$  Adherencia  $= \frac{3}{4} C = 2.00 \text{ Tm/m}^2$

$D_f = 12\text{m}$

$\gamma =$  Peso volumétrico sumergida  $= 0.77 \text{ Tm/m}^3$

$\Phi =$  Ángulo de fricción  $= 15^\circ$

Del gráfico de Terzaghi se deducen los factores de capacidad portante

(Ver Figura N° 10 y 11)

$N_c = 12.90$

$N_q = 4.40$

$N_w = 2.50$

$R_p = \pi \cdot r^2 (1.3 C \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.60 \gamma \cdot r \cdot N_w)$

$R_p = (3.14) (0.15)^2 [1.3 \times 2.50 \times 12.90 + 0.77 \times 12.00 \times 4.40 + 0.60 \times 0.77 \times 0.15 \times 2.50] = 5.85 \text{ ton}$

$R_f$  (Resistencia por fricción):

$R_f = (2) (3.14) \times 0.15 \text{ m.} \times 12.00 \text{ m.} \times 2.00 \text{ t/m}^2$

$R_f = 22.61 \text{ ton}$

### Resistencia de un pilote:

$$R_t = 5.85 \text{ ton} + 22.61 \text{ ton}$$

$$R_t = 28.46 \text{ Tm...} > 6.5 \text{ Tm requeridas .....ok}$$

### h.2 Formula NAVFAC (1972)

El pilote aislado se expresa por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} Q_{di} &= Q_p + Q_f \\ &= q_d + A_p \sum s_s A_L \end{aligned}$$

Donde:

$Q_{di}$  = Capacidad de carga de un pilote aislado

$Q_p$  = Capacidad de carga en la punta

$Q_f$  = Capacidad de carga por fricción lateral

$q_d$  = Capacidad de carga (unitaria) del suelo

$A_p$  = Área de la punta del pilote

$s_s$  = Fricción lateral en superficie de contacto pilote-suelo

$A_L$  = Área lateral del pilote

Suelos cohesivos.

Para un pilote aislado embebido en un suelo cohesivo, se tiene que:

$$q_d = C \cdot N_c$$

$$s_s = C_a$$

De donde:

$$Q_{df} = C N_c A_p + \sum C_a A_L$$

Donde:

$C$  = Cohesión a la profundidad de la punta del pilote

$N_c$  = Factor de capacidad de carga

$C_a$  = adherencia en la superficie lateral del pilote

Debe notarse que el termino  $\gamma_d$  no ha sido incluido en el cálculo de  $q_d$ , asumiendo se compensa con el peso propio del pilote.

$N_c$  es función  $z/b$ , para pilotes ( $z/b > 10$ ) es igual a 9.

Para otros valores de  $z/b$  tiene los valores siguientes:

$z/b$	1	2	3	>4
$N_c$	7.7	8.4	8.7	9

La adherencia  $C_a$  es función de la cohesión del suelo; los valores recomendados aparecen en el siguiente cuadro (Manual NAVFAC, 1972):

Figura N°	Consistencia del suelo	C (kg/cm <sup>2</sup> )	Ca (kg/cm <sup>2</sup> )	
			Pilotes de madera y concreto	Pilotes de acero
12	Muy blando	0-0.125	0-0.125	0-0.125
	Blando	0.125-0.25	0.125-0.24	0.125-0.23
	Med. compacto	0.25-0.50	0.24-0.375	0.23-0.35
	Compacto	0.50-1.00	0.375-0.475	0.35-0.36
	Muy compacto	1.00-2.00	0.475-0.65	0.36-0.375
	Duro		>2.00	0.65

ncia, NAVFAC, 1972

$$Q_d (\text{Resistencia total}) = C \cdot N_c \cdot A_p (\text{Resistencia por punta}) + C_a \cdot A_L (\text{Resistencia por fricción})$$

$A_p$  = Área de la punta

$$= 3.14 (0.15)^2$$

$$= 706.5 \text{ cm}^2$$

$$A_L = \text{Área lateral}$$

$$= 2 \times 3.14 \times 15 \times 1200$$

$$= 113,097 \text{ cm}^2$$

$$Ca = \text{Coeficiente de fricción lateral}$$

$$= 0.20 \text{ kg/cm}^2$$

$$C = \text{Cohesión}$$

$$= 0.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_c = \text{Factor de capacidad de carga depende}$$

$$= L/d > 10 \text{ el valor máximo es } 9;$$

Siendo L = longitud del pilote y d = diámetro de la punta

$$Q_{di} = 0.25 \times 9 \times 706.50 + 0.20 \times 113,097 \text{ cm}^2$$

$$= 1,589 \text{ kg} + 22,619 \text{ kg}$$

$$Q_{di} = 24.2 \text{ Tm} > 6.5 \text{ Tm. requeridas. ....ok}$$

En ambos casos, tanto por la Formula del Ing. Karl Terzaghi y por NAVFAC, la resistencia del pilote supera a la sollicitación de carga en compresión y tracción con aceptables coeficientes de seguridad.

### **h.3 Fórmula dinámica:**

Para calcular el rechazo, utilizaremos la formula dada por el fabricante del equipo de hincas, en este caso de la marca DELMAG, para el modelo D-12, según lo siguiente:

(Ver Figura N° 13)

- ✓  $w = E \times R / (C.L + s) (R + Q)$ , Donde:
- ✓  $w =$  Capacidad de carga final en Ton. (sin contar fricción)
- ✓  $E =$  Energía por golpe para DELMAG, D12 = 3,120 kg-m
- ✓  $R =$  Peso del mazo Para DELMAG, D12 = 1,250 kg
- ✓  $C =$  Factor de elasticidad del pilote  
= 0.6 mm//m de pilote
- ✓  $L =$  Longitud del pilote a hincar  
= 12.00 m.
- ✓  $s =$  Penetración media por golpe, para los últimos 10 golpes
- ✓  $Q =$  Peso del pilote  
= 850 kg
- ✓  $\emptyset =$  Diámetro del pilote a hincar  
= 13"

Aplicando la fórmula:

$$\begin{aligned} \checkmark \quad s &= [3,125 \times 1,250 / (1,250 + 850) 38.5] - 0.60 \times 12.00 \\ &= 41 \text{ mm / golpe} \end{aligned}$$

O sea, con un rechazo de 3 - 4 golpes /10 cm., se logra la capacidad de carga

#### **i. Comentarios de la ejecución de hincado**

- ✓ La madera Capirona es muy dura y resistente.
- ✓ En la hinca de toda la red de torres de comunicaciones donde se han hincado 351 pilotes solo se ha rajado 1 pilote.

La capacidad de carga de pilotes hincados con martillos Diesel DELMAG, se calcula utilizando la fórmula.

$$W = \frac{E \cdot R}{(c \cdot L + s) \cdot (R + Q)}$$

W= Capacidad de carga final en Ton. (sin contar la fricción)

E= Energía por golpe (en Kg) Martinete Diesel utilizado.

R= Peso del impacto.

c= Factor de elasticidad del pilote y suelo en mm para un metro de longitud de pilote. 0.6 madera 0.3 acero y hormigón.

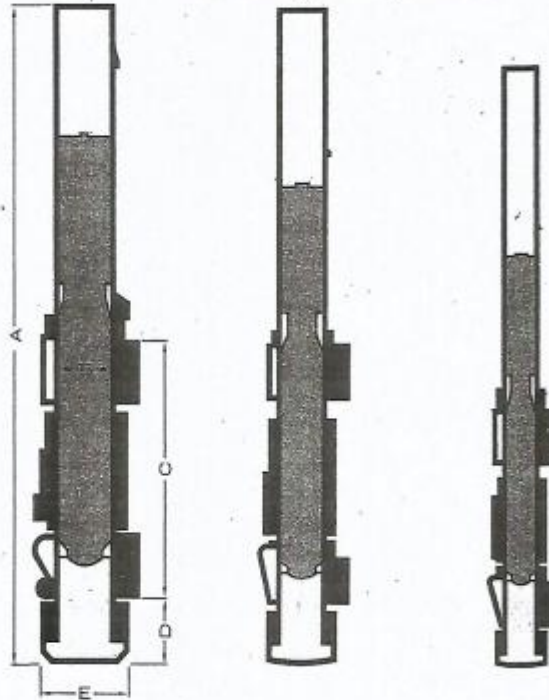
L= Longitud del perfil a hincar (m)

s= Penetración media permanente por golpe, durante los diez últimos golpes (mm)

Q= Peso del perfil a hincar (Kg)

Para obtener una cifra conservadora de carga puede aplicarse un coeficiente de seguridad de 2 a 3 (no incluido en la fórmula). Los valores de E, R y c pueden obtenerse de la tabla. Los de L, s y Q se obtienen en obra. Los valores que para c en la tabla son empíricos y deben comprobarse con las lecturas de penetración real en los últimos 10 golpes.

## Como calcular la capacidad de carga de pilotes



### D30

A = 4320 mm (14'2 1/4")  
 B =  $\phi$  390 mm (15 3/8")  
 C = 1710 mm (5'7 1/8")  
 D = 440 mm (17 1/8")  
 E =  $\phi$  580 mm (22 7/8")

### D12

A = 4245 mm (13'11")  
 B =  $\phi$  300 mm (11 13/16")  
 C = 1750 mm (5'8 1/8")  
 D = 350 mm (13 3/4")  
 E =  $\phi$  480 mm (18 1/8")

### D5

A = 3816 mm (12'6")  
 B =  $\phi$  210 mm (8 11/16")  
 C = 1415 mm (4'7 1/8")  
 D = 270 mm (10 5/8")  
 E =  $\phi$  320 mm (12 1/2")

ESPECIFICACIONES	D30	D12	D5
R Peso del pistón	approx. 3,000 kg (6,600 lbs.)	1,250 kg (2,750 lbs.)	500 kg (1,100 lbs.)
Energía/golpe	3,300-7,500 mkg (23,870-54,200 ft.lbs.)	3,125 mkg (22,610 ft.lbs.)	1,250 mkg (9,050 ft.lbs.)
No. de golpes/min.	39-60	42-60	42-60
Max. presión sobre el pilote	110,000 kg (242,000 lbs.)	42,500 kg (93,500 lbs.)	21,000 kg (46,200 lbs.)
Inclinación del pilote hasta	1:1 (45°) with cylinder intermediate section	1:1 (45°)	1:1 (45°)
consumo de combust. por hora	11 l (2.42 imp. gals.) (2.9 U.S.gals.)	6.61 (1.45 imp. gals.) (1.75 U.S.gals.)	3.51 (0.77 imp. gals.) (0.92 U.S.gals.)
consumo de cant. por hora	1.51 (0.33 imp.gals.) (0.4 U.S. gals.)	0.751 (0.165 imp. gals.) (0.2 U.S. gals.)	0.51 (0.11 imp. gals.) (0.13 U.S. gals.)
capacidad tanque combust.	38.51 (8.5 imp. gals.) (10.2 U.S. gals.)	15.51 (3.42 imp. gals.) (4.1 U.S. gals.)	11.51 (2.53 imp. gals.) (3.1 U.S. gals.)
capacidad tanque lubricante	71 (1.55 imp. gals.) (1.85 U.S. gals.)	31 (0.66 imp. gals.) (0.8 U.S. gals.)	21 (0.44 imp. gals.) (0.53 U.S. gals.)
<b>PESOS</b>			
peso total de operación	5,600 kg (12,320 lbs.)	2,750 kg (6,050 lbs.)	1,240 kg (2,730 lbs.)
Mordazas de guía - standar	70 kg (155 lbs.)	40 kg (88 lbs.)	20 kg (44 lbs.)
corredera.	250 kg (550 lbs.)	130kg (286 lbs.)	70 kg (155 lbs.)
Patín de transporte	305 kg (671 lbs.)	185 kg(407 lbs.)	122 kg (270 lbs.)
herramientas	90 kg (200 lbs.)	60 kg (132 lbs.)	60 kg (132 lbs.)
cabezal			

FIGURA N° 13

## CAPACIDAD DE CARGA DE PILOTES, SEGÚN FABRICANTE

#### **4.1.4 PILOTE METÁLICOS, PINTADO E HINCADO**

##### **a. Problema técnico a tratar**

Se trata de la cimentación apoyada en pilotes metálicos para la construcción de un muelle marítimo, que trabajara por cabotaje.

En este caso, la cimentación por pilotaje, corresponde a un muelle de 864.00 m. de longitud, con una profundidad de calado en el cabezo de 5.00 m., con tablero superior de ancho igual a 9.80 m. y de separación entre el nivel de aguas ordinario y dicho tablero es de 4 m. sobre el nivel del mar, constituido por durmientes de madera tratada de 6" x 6", separados de 2" a 3". Estos durmientes van apoyados sobre vigas longitudinales de madera tratada de 12" x 12" (Empalmadas con sistema Rayo de Júpiter) que se apoyan en las vigas transversales de los pórticos o cepas que están cada 5.00 m.

Estos pórticos están constituidos por 2 pilotes laterales de Ø 6" sólidos, inclinados 1:10, un pilote central de Ø 6" sólido vertical y la viga transversal de 9.80 m. con peralte de 0.70m. tipo celosía con planchas de espesor igual a ¾".

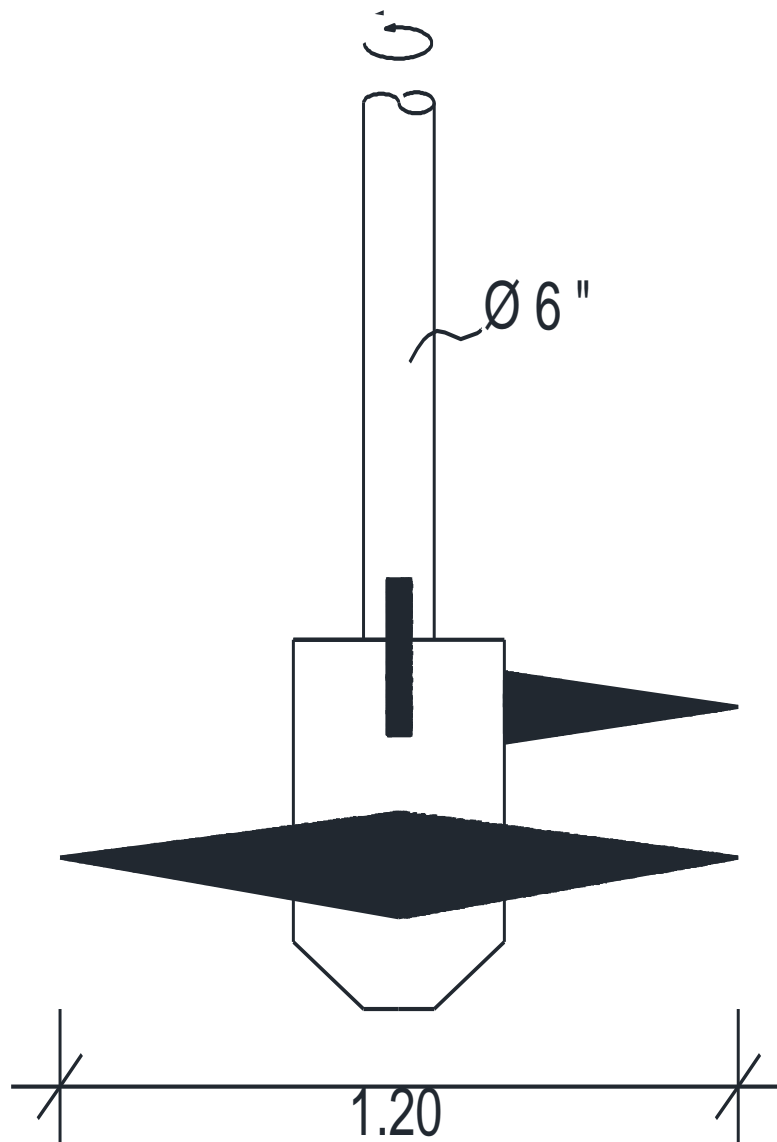
Además, se tienen los arriostramientos, 17 por cepa; los horizontales son rieles de 60 lbs/ yarda y los verticales son barras de Ø 2.50" con templadores. Estos elementos se unen a los pilotes con abrazaderas de Ø 6" x 3/4" y pernos de Ø 1", (Toda la estructura metálica es relativamente flexible).

##### **b. Detalles técnicos a considerar**

Es pertinente considerar aspecto de técnicos encontrados en el diagnóstico situacional del muelle existente que se reparó, según lo siguiente:

- ✓ El muelle a tratar, corresponde a una construcción original de 1,860
- ✓ Ejecutado en la época del apogeo de las haciendas del norte de nuestro país, las que, por su poderío económico, pudieron contratar a firmas extranjeras para la construcción de sus muelles marítimos que les sirvieran para la gran exportación de productos agroindustriales, en este específico caso, la exportación de azúcar.
- ✓ A través del tiempo, el muelle señalado, ha sufrido constantes problemas por el fuerte oleaje de la zona y marejadas, por el desgaste por trabajo de los pilotes empleados; pero también, porque existe un problema de diseño que obliga a que el tablero deba estar por lo menos a 1.00 m. más elevado, de su diseño original.
- ✓ El muelle soporta una locomotora y sus coches de carga, sobrecarga estimada de 50 Tm por pódico, con el fin de llevar el producto desde la zona de acopio, hasta el cabezo del muelle, para ser embarcado mediante las 3 grúas livianas para carga y descarga hacia los botes, quienes trabajan por cabotaje, esto es, que llevan la carga a zonas más profundas, donde los espera el buque mercante que finalmente lleva la carga hacia otros muelles, nacionales o foráneos.
- ✓ La reparación fue de tipo integral, de tal forma que el muelle pueda soportar las cargas de diseño proyectadas.
- ✓ Se practicó un inventario con el empleo de buzos especializados del estado de los pilotes, encontrándose algunos hasta con 1” de diámetro en la línea de marea. Se ha comprobado un desgaste promedio por oxidación de 0.38 mm por año.
- ✓ El acero de los pilotes que se encontró es de alta calidad, con buen comportamiento frente a la oxidación.

- ✓ Para extraer los pilotes a reemplazar, se usó chorro de agua desde una bomba de alta presión y aplicado alrededor del pilote con un tubo, por medio de buzos; luego la grúa lo levantaba para retirarlos y cambiarlos por nuevos elementos.
- ✓ Se encontraron muchos pilotes tipo Mitchell (INGLATERRA)
- ✓ Estos tienen un cabezal con aleta helicoidal de  $\text{Ø } 1.20 \text{ m}$ . que se atornillaban al suelo y han tenido buen comportamiento; se aprecian en la **Figura N° 01**, según:



## **FIGURA N° 01**

### **PILOTE METÁLICO MITCHELL**

#### **PILOTES HELICOIDALES MITCHELL**

##### **ANTECEDENTES**

Se han empleado en el mundo diversos tipos de pilotes helicoidales. En 1833 Alejandro Mitchell, ingeniero británico que inició una revolución en temas de cimentaciones en la ingeniería, utilizó pilotes que podían introducirse en el terreno a una profundidad deseada con gran facilidad y un mínimo de costos para la construcción de embarcaderos y puentes. El sistema Mitchell terminó teniendo un éxito rotundo, no sólo en Inglaterra sino en el mundo entero. La mayoría de los muelles metálicos que se construyeron a partir de la segunda mitad del siglo XIX se ejecutaron con cimentación de pilotes roscados, entre ellos los embarcaderos británicos de mineral de Riotinto, Tharsis y Dicado, en España. Mitchell y su hijo construyeron la empresa Screw Pile Company, que patentó y difundió los pilotes roscados por el Reino Unido y países extranjeros.

#### **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Los pilotes helicoidales son elementos constituidos por placas circulares con forma de hélices, soldadas a un fuste o árbol del mismo material. El fuste es usado para transmitir el torque durante la instalación, transferir cargas axiales a las placas helicoidales y suministrar resistencia al ataque lateral. El pilote metálico helicoidal de múltiples hélices es adecuado para ser utilizado en diversos tipos de suelos, no así en suelos extremadamente duros o rocosos. Son particularmente útiles en depósitos de arcilla profundos. (Portella, 2007) Estos pilotes son un valioso componente dentro del grupo de herramientas de la geotecnia. Desde el punto de vista de la arquitectura, ellos pueden adaptarse para apoyar diferentes tipos de estructuras con variadas condiciones del suelo. Resulta ventajosa su utilización al no requerir uso de cemento, no se necesita agua, para su instalación los equipos que requiere son: un tractor pequeño o una retroexcavadora con cabezal de clavado, la mano de obra es mínima, no precisa la realización del vibrado, provoca poco impacto sobre el medio ambiente, puede ser instalado en cualquier condición climática.

- Los nuevos pilotes, también de Ø 6" y sólidos se clavaron con martinete DELMAG Diésel D-12 y se encontraba rechazo con 5 m. promedio de penetración. (suelo tipo arenisca).
- En todo lo relacionado con material de nuevos elementos metálicos, se usó plancha naval A-36, equipos de soldar de 400 amperios mínimo, prensa hidráulica para rolar planchas de  $\frac{3}{4}$ ".

#### **Estructuras metálicas**

##### **Generalidades**

- ✓ Son perfiles estructurales de acero (Manual Of Steel Construction, del AISC (American Institute Of Steel Construction), generalmente vigas H o secciones circulares, tubulares o sólidas. La denominación usada es perfil W (vigas H), perfil WF (vigas H de ala ancha), perfil S (Vigas I), perfiles varios como ángulo, tee, canal, etc.

- También se fabrican “perfiles estructurales de acero soldado”, (en nuestro país: ARMCO), utilizan planchas PG-E24 (Código SIDERPERU,  $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ , límite de proporcionalidad). Se tienen: perfil columna SC (similar W), perfil viga columna CVS (similar WF) y perfil VS (similar I) (Norma ITINTEC 341-154)
- En todo lo relacionado a estructuras metálicas se usa la Norma E-090 del RNE - Reglamento Nacional de Edificaciones.

### **Características principales del acero**

- Especificaciones técnicas
  - Coeficiente de elasticidad :  $E = 200,000 \text{ MP}_a$  ( $\text{MP}_a = 10.2 \text{ kg/cm}^2$ )
  - Módulo de elasticidad en corte :  $G = 77,200 \text{ MP}_a$
  - Coeficiente de Poisson :  $\nu = 0.3$
  - Densidad :  $D = 7,850 \text{ kg/m}^3$
  - Coeficiente de dilatación térmica :  $\alpha = (12.1)^6 / ^\circ\text{C}$
- Calidad del Acero: Las normas ASTM se aplican para la fabricación del acero. Normalmente se usa acero estructural ASTM A-36 ( $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ), para vigas de puentes se prefiere el A-572 y para pilotes tubulares el A-253.
- Con los pilotes metálicos se puede atravesar estratos duros, inclusive romper piedras a su paso.
- Trabajan preferentemente por punta y en terrenos suaves también por fricción.
- Son muy resistentes a los esfuerzos de flexo compresión.
- Son afectados por oxidación en las partes expuestas y más si éstas tienen cambio de humedad.
- También se pueden usar pilotes roscados

### **c. Reparación integral de la estructura**

- Reparar un tramo de 80.00 m. y por el desgaste general en que se encuentra, se hace una reparación para uso de pesca artesanal.
- Se ha reemplazado los pilotes dañados con pilotes tubulares, las vigas longitudinales de madera y vigas transversales dañadas, con vigas metálicas.

- Las mayores cargas de uso, serían la grúa más el martinete que se van a utilizar en el hincado, y los esfuerzos de olas, marejadas y sismos. Además, debe tenerse en cuenta el efecto de la oxidación.
- El suelo es una arena compacta y se requiere un “hincado duro”.
- Estructuralmente se considera que esfuerzos a lo largo del muelle, son absorbidos por la estructura en su conjunto, no es necesario verificar.
- Para los esfuerzos laterales, se ha realizado una verificación estructural de la sección transversal.

#### **d. Modelaje estructural del pórtico transversal**

##### **Viga longitudinal (Figura N° 02)**

Son 7 vigas continuas con apoyos cada 5 m., y separadas entre sí 1.63 m.

Cargas sobre la viga longitudinal:

- ✓ Grúa utilizada para la hinca:

Peso = 15.00 Tm

Largo = 4.00 m.

Ancho = 4.00 m.

Peso de cada llanta = 3.75 Tm y esta se distribuye en 2 vigas, resultando una carga máxima al centro de 1.88 Tm

- Para la madera conformante del proyecto, tenemos:

Tablero de durmientes de 6”x 6”, con 0.225 m. entre ejes.

Densidad de madera, igual a  $0.9 \text{ Tm/m}^3$ ;  $(1 \div 0.225) = 4.43$  durmientes por metro.

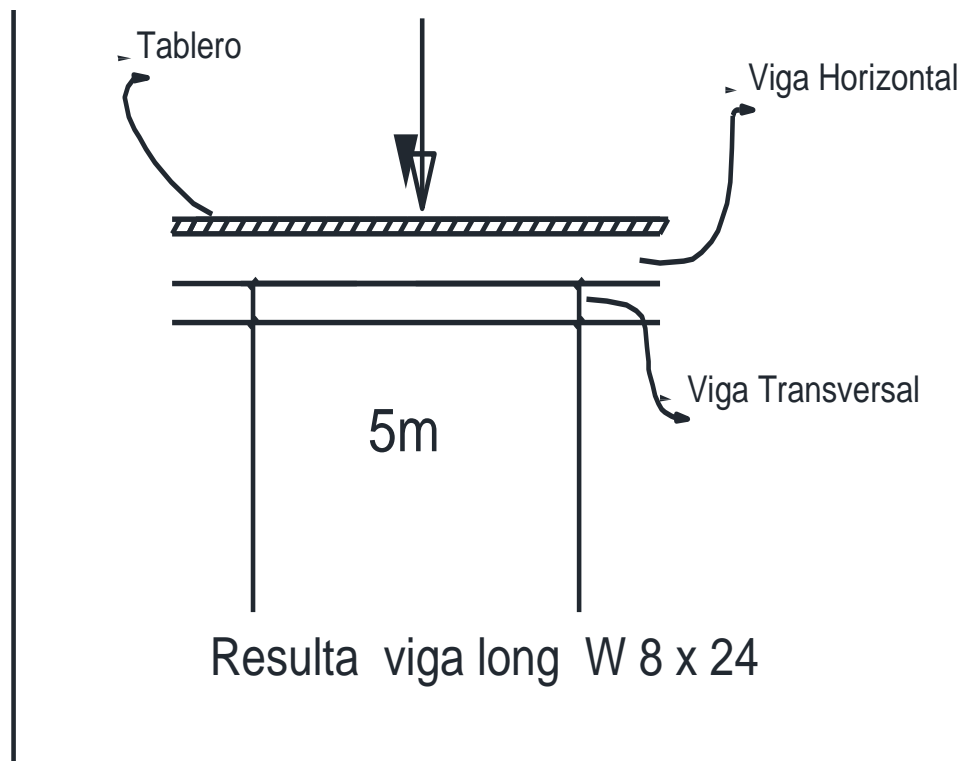
Peso de tablero sobre viga longitudinal:  $4.43 \times 0.15 \times 0.15 \times 0.90 \times 1.63 \text{ m.} = 0.15 \text{ Tm/m}$

- ✓ Del análisis resulta:

Sección de la viga = **W 8 x 24 lbs/pie**

Peso de la viga = 0.18 Tm x vigas de 5 m.

S/C = 0.15 Tn/m      GRÚA 1.88 Tn



**Figura N° 02**

### **VIGA LONGITUDINAL**

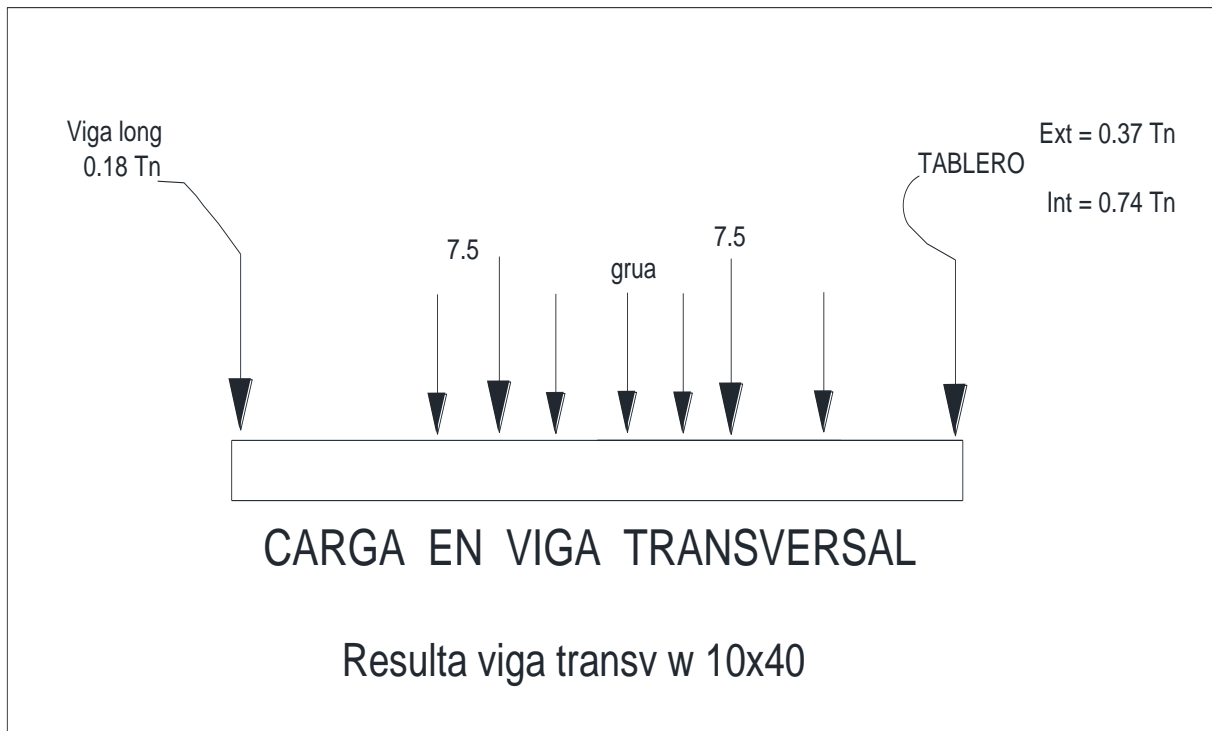
#### **Viga transversal (Figura N° 03)**

Son de 9.80 m. de largo con 3 apoyos, ubicados a 4.90 m.

Cargas sobre la viga transversal:

- ✓ Vigas longitudinales de 0.18 Tm separadas a una longitud de 1.63 m.
- ✓ Tablero, a través de las vigas longitudinales de 0.34 Tm en cada extremo y 0.74 Tm en cada uno de los 5 apoyos interiores.
- ✓ Sobrecarga por la Grúa de 15.00 Tm. apoyada totalmente en la viga, son dos cargas simétricas de 7.5 Tm cada una.
- ✓ Del análisis resulta:

Sección de la viga	=	<b>W 10x 49 lbs/pie</b>
Peso de la viga	=	0.074 Tm/m



**Figura N° 03**

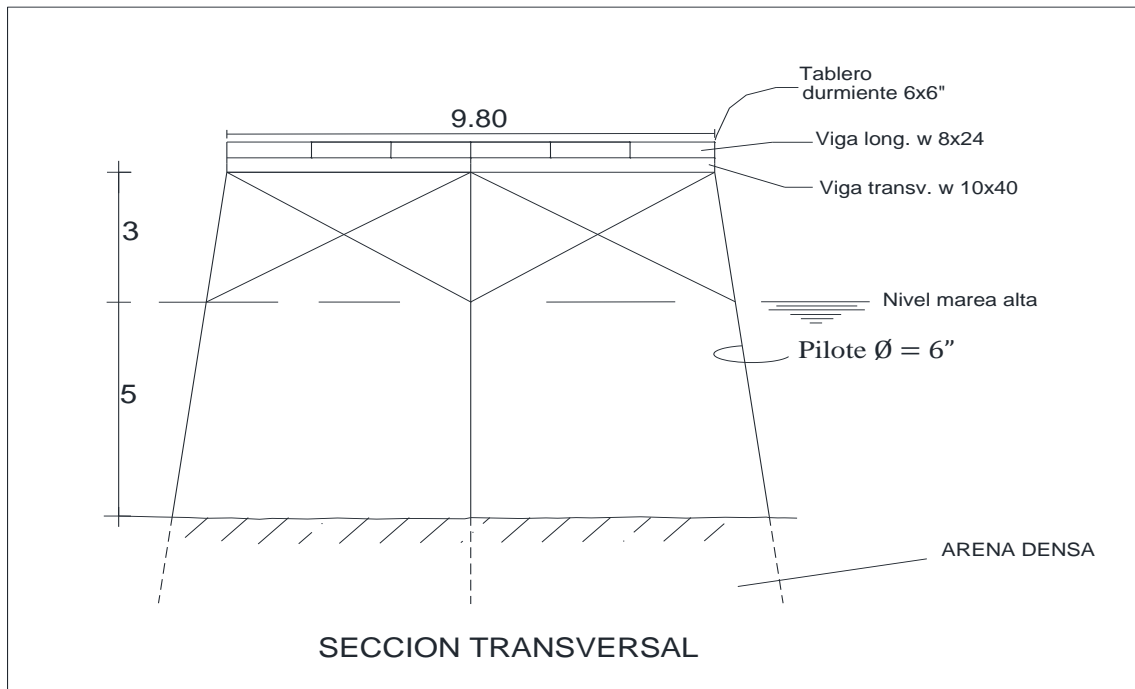
**VIGA TRANSVERSAL**

**Pórtico (Figura N° 04 a. y b.)**

- Se consideran 3 pilotes tubulares de Ø 6", cédula 160 (SCH 160), Figura N° 04 a
- Descripción del Tubo Ø6" - cédula 160 (SCH 160)

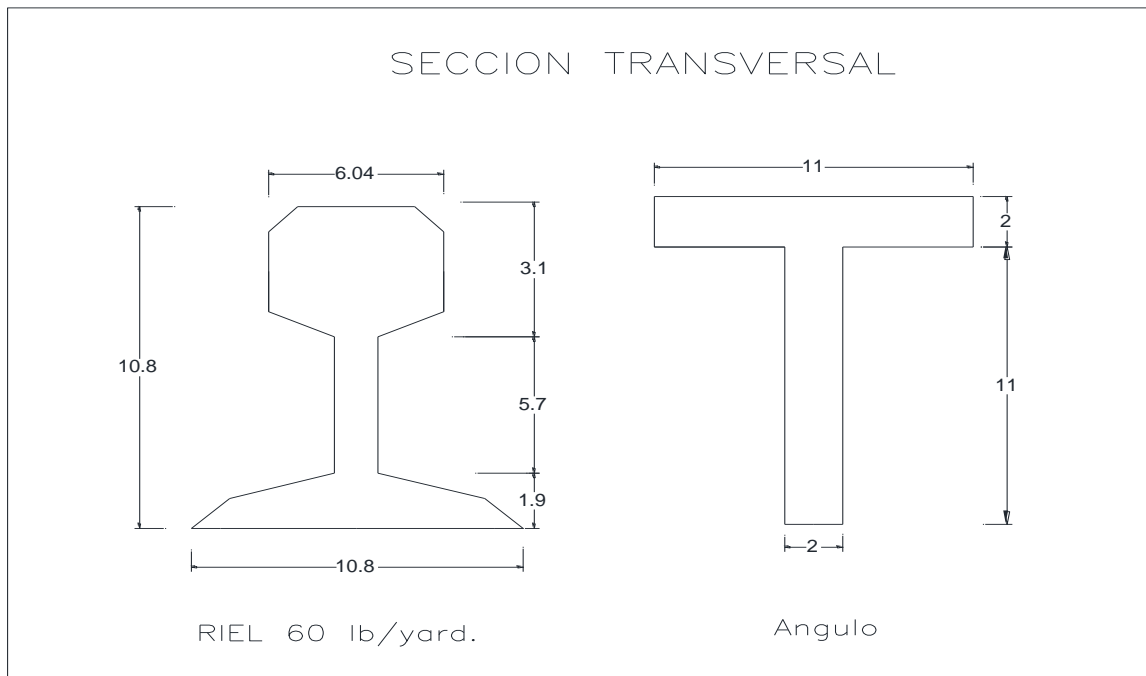
Ø exterior	6.625" = 168.28 mm
Ø interior	5.189" = 131.80 mm.
Espesor	0.718" = 18.24 mm.
Peso	67.41 4 kg/m.
Peso por pilote de 12.00 m.	808 kg.

- ✓ Arriostramiento con rieles de 60 lbs x yarda (29.76 kg/m). Para el análisis se ha reemplazado estos rieles por una tee de 11 cm x 11 cm y 2cm. de espesor, según Figura N° 04 b.



**Figura N° 04 a.**

**PÓRTICO**



**Figura N° 04 b.**

**ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO DEL PÓRTICO**

**Relación de cargas verticales:**

Para cálculo de esfuerzo horizontal por sismo

- (3x8)24 m. de pilote,	(67.4 kg/m.)	=	1.6 Tm.
- 9.80 m. de viga transversal	(74 kg/m)	=	0.72 Tm
- 35.00 m. de viga longitudinal	(36 kg/m)	=	1.26 Tm
- 218.00 m de durmiente	(20 kg/m)	=	4.36 Tm
- Grúa y martinete		=	15.00 Tm
- Arriostres de riel. 17x6x29.76 kg/m		=	<u>3.35 Tm</u>
- Total peso vertical pórtico		=	26.30 Tm

**Cargas para el diseño y/o verificación:**

- Carga de sismo o efecto de olas:

consideramos 11% de la carga vertical,

$$\text{sería } 11\% \times 26.30 \text{ Tm} = 2.90 \text{ Tm}$$

como **carga horizontal que aplicaremos en un nudo superior.**

- Carga viva por el peso de la grúa: son dos cargas de 7.5 Tm c/u.

- Tablero (sobre viga longitudinal):

1. en exterior = 0.37 Tm

2. en interior = 0.74 Tm

- Viga longitudinal = 0.18 Tm, c/u.

- Peso propio del pórtico, incluyendo arrostramientos.

- Se ha usado la combinación de carga factorizada:

- cargas muertas = 1.4

- cargas vivas = 1.7

- carga de sismo = 1.5

**Analizando el modelo, se obtiene:**

- Desplazamiento máximo lateral: 0.028 m. ....ok.

- Reacción máxima en el pilote central = 26.00 Tm

- Fuerzas axiales:

- en viga transversal una compresión máxima = 4.95 Tm

- en arriostres una compresión máxima = 1.2 Tm.

- Todos los elementos cumplen las condiciones de resistencia

- Salvo el arriostre por carga de compresión,

donde el parámetro de esbeltez ( $\lambda$ ):

$\lambda = k \cdot L / r$ , resulta mayor a 200 (Norma de Esbeltez E-090)

- Para el tipo de arriostre, se ha considerado el perfil metálico Tee:

1. de sección = 11 cm. x 11 cm.
2. de espesor = 2 cm.
3. de longitud = 6 m.
4. de radio de giro = 2.28 cm.

✓ Reemplazando en la fórmula de esbeltez, tenemos:

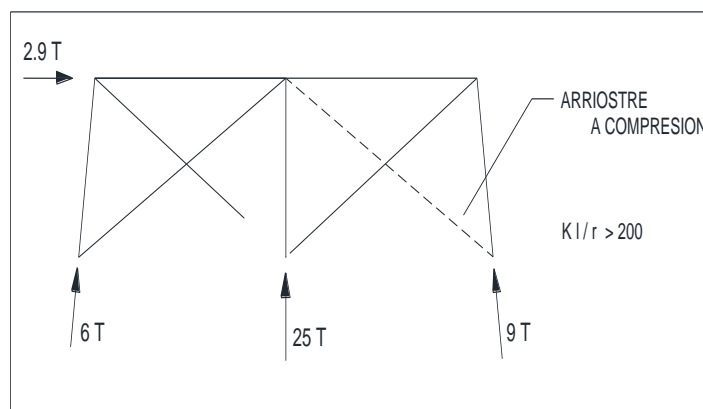
5.  $\lambda = k \cdot L / r$ , donde:

6.  $K = 1$  (por extremos empernados del elemento, Norma E-090, 3.2.1)

7.  $\lambda = 1 \times 600 / 2.28 = 263$

pero como:  $263 \geq 200$  (no cumple), por otro lado:

- ✓ La carga unitaria por compresión =  $1200/44$   
=  $27.2 \text{ kg/cm}^2$  muy baja
- ✓ Como resulta muy baja, se acepta la sección elegida.



**Figura N° 05**

## **RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL PÓRTICO**

### **e. Verificación del Pilote**

## Del Suelo

- ✓ Es un fondo marino
- ✓ El lecho marino este compuesto de arena compacta
- ✓ El estrato es de gran espesor, estimamos a la profundidad que llegue el pilote, lo siguiente:
  8. un ángulo de fricción  $\phi = 38^\circ$
  9. una densidad  $\gamma = 1.9 \text{ Tm/m}^3$ .
- ✓ Cuando se hinca un pilote en la arena, la compactidad del suelo aumenta rápidamente y el pilote no penetra, tal como se muestra en:

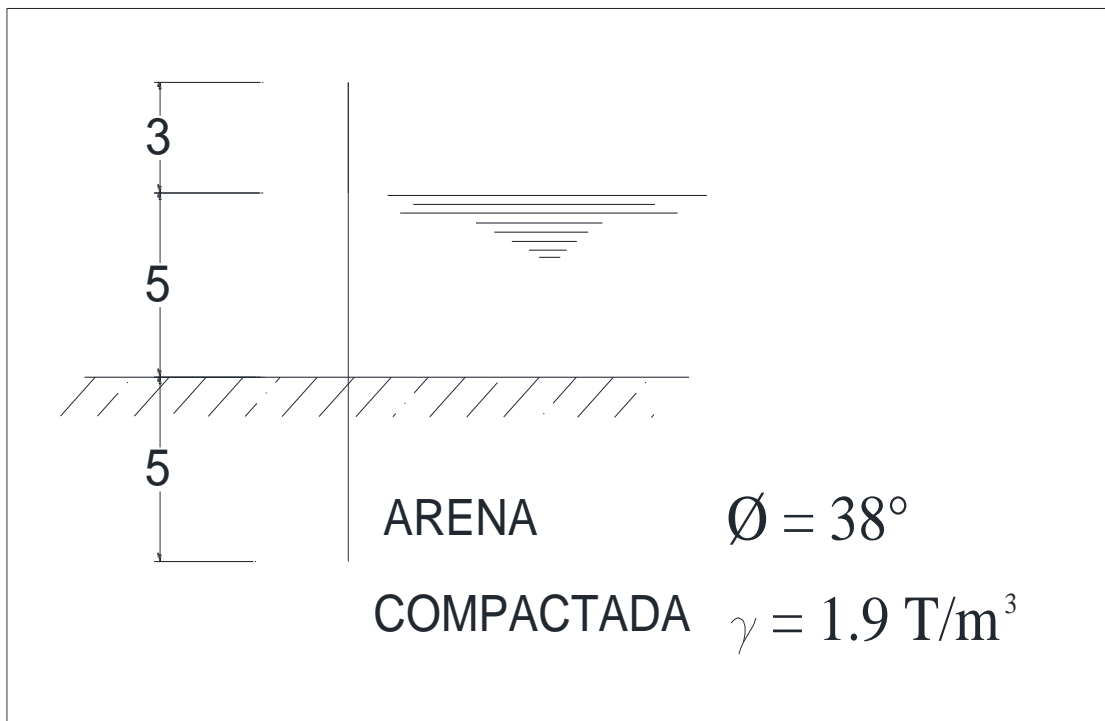


Figura N° 06

## SUELO DE CIMENTACIÓN DEL PILOTE

### Verificación dinámica de la capacidad de carga del pilote

- ✓ Se aplica la fórmula dinámica (dada por el fabricante del martillo o martinete) que permite el cálculo del rechazo para la carga de trabajo del pilote y la energía del martillo para vencer la inercia y poder hacerlos penetrar.
- Carga de diseño = 26 Tm, según resultados del análisis.
- Fórmula del fabricante para DELMAG – Diésel:

$$t = \frac{E.R}{W(R + Q)} - 0.3L$$

Donde:

t	=	Rechazo en milímetros.	
E	=	Energía del D-12	= 3,125 kg - m
E	=	Energía del D-5	= 1,250 kg - m
Q	=	Peso del pilote	= 808 kg.
R	=	Peso de la masa del D-12	= 1,250 kg
R	=	Peso de la masa del D-5	= 500 kg
W	=	Carga de diseño, con factor de seguridad	= 3
			= 3 x 26
			= 78 Tm
L	=	Longitud del pilote	= 12.00 m.

- ✓ Aplicando la fórmula para martillo D-12:

$$t = \frac{(3125) 1250}{78(1250 + 808)} - 0.3(12) = 24.33 - 3.6 = 20.73mm \text{ por golpe}$$

Lo que significa 5 golpes x 10 cm

- ✓ Aplicando la fórmula para martillo D-5:

$$t = \frac{(1250) 500}{78(500 + 808)} - 0.3(12) = 6.12 - 3.6 = 2.58mm \text{ por golpe}$$

Lo que significa 40 golpes x 10 cm

- ✓ Se puede apreciar que mejor rendimiento se consigue con el empleo del Martillo DELMAG D-12.

### **Verificación estática de la capacidad de carga del pilote**

De la aplicación de la fórmula estática, según el Ing. Civil Roberto Michelena Cárdenas, Mecánica de Suelos Aplicada, 1991, Pág. 153-155, para suelos granulados:

**SUELOS GRANULARES**  
**PARA UN PILOTE AISLADO EMBEBIDO EN SUELO GRANULAR**

$$q_d = \sigma'_t N_q$$

$$S_s = K_{HC} \sigma'_o \text{ tang } \Theta$$

de donde:

$$Q_{di} = \sigma'_o N_q A_p + S_s K_{HC} \sigma' \cdot \text{tang } \Theta \cdot A_L$$

donde

- $\sigma'_t$  - presión efectiva vertical a la profundidad de la punta del pilote.  
(ver nota 1)
- $N_q$  - capacidad de capacidad de carga.
- $K_{HC}$  - coeficiente de empuje horizontal, igual a la relación entre los esfuerzos efectivos horizontales y vertical en un elemento en compresión adyacente del pilote.
- $\sigma'_o$  - presión efectiva vertical a la profundidad considerada (Ver Nota 1)
- $\Theta$  - ángulo de fricción pilote-suelo.

Asimismo, la resistencia última en tracción está dada por la expresión:

$$T_{ult} = K_{HT} \sigma'_o \text{ tang } \Theta A_L$$

donde:

$K_{HT}$  Idem a  $K_{HC}$ , pero para un elemento afectado por el efecto de acción del pilote.

Nota 1 Para una aplicación de la fórmula estática para pilotes de fricción en suelos granulares, se debe considerar que la presión efectiva vertical aumenta sólo hasta una profundidad igual a 20 veces el ancho o diámetro del pilote, medida a partir a la profundidad donde se desarrolla la resistencia por fricción.

Los valores de  $N_q$ ,  $K_{HC}$ ,  $K_{HT}$  y  $\Theta$  A utilizar en las expresiones presentadas líneas arriba se indican a continuación en el cuadro 4.4 transcrito del Manual de diseño (NAVFAC, 1972) en función de las propiedades del suelo granular y del tipo de pilote.

**CUADRO 4.4**  
**PARÁMETROS PARA FORMULA ESTÁTICA EN SUELOS GRANULARES**

Ø (en grados)	28	30	31	32	33	34	34	36	37	38	39	40
A	15	21	24	29	35	42	50	62	77	96	120	145
B <sup>2</sup>	8	10	12	14	17	21	25	30	38	48	60	72

A = pilotes de desplazamiento hincados.

B = pilotes excavados o perforados.



Tipos de pilote		
	$K_{HC}$	$K_{HT}$
Hincado de H	0.5 - 1.0	0.3 - 0.5
Hincado de desplazamiento	1.0 - 1.5	0.6 - 1.0
Hincado de desplazamiento,	1.5 - 2.0	1.0 - 1.3
Truncocónico		
Hincado y con inyección de agua	0.4 - 0.9	0.3 - 0.6
Perforado	0.7	0.4

Tipos de pilote	$\theta$
Acero	20°
Concreto	3/4 $\theta'$
Madera	3/4 $\theta'$

$$Q_{di} = \sigma'_t N_q A_p \quad (\text{Resistencia por punta}) \quad +$$

$$\Sigma K_{HC} \sigma'_o \text{ tang } \theta \cdot A_L \quad (\text{Resistencia por fricción})$$

✓ Para ángulo de fricción  $\theta = 38^\circ$ , tenemos:

$$N_q = 96 \quad \text{ver cuadro 4.4}$$

$$K_{HC} = 0.9 \quad \text{pilote hincado}$$

✓ **Para pilote de acero:**

$$\theta = 20^\circ$$

$$\text{tang } \theta = 0.364$$

✓ Presión efectiva  $\sigma'_t = \sigma'_o$   
 $=$  (peso del suelo) – (peso del agua)

$$\begin{aligned}
&= (5.00 \text{ m.} \times 1.90 \text{ Tm/m}^3) - (5.00 \text{ m.} \times 1 \text{ Tm/m}^3) \\
&= 4.50 \text{ Tm/m}^2 \\
\checkmark \quad A_p &= \pi \cdot r^2 \\
&= 3.14 \times (0.084)^2 \\
&= 0.022\text{m}^2 \quad (\text{área de la punta}) \\
\checkmark \quad A_L &= 2 \pi \cdot r \cdot L \\
&= 2 \times 3.14 \times 0.084 \times 5.00 \\
&= 2.64\text{m}^2 \quad (\text{área lateral}) \\
\checkmark \quad \text{Aplicando la fórmula por punta:} \\
&= 4.50 \times 96 \times 0.022 \\
&= 9.50 \text{ Tm} \\
\checkmark \quad \text{Por fricción} &= 0.9 \times 4.5 \times 0.36 \times 2.64 \\
&= 3.8 \text{ Tm} \\
\checkmark \quad \text{Resistencia total} &= 9.50 + 3.80 \\
&= 13.30 \text{ Tm}
\end{aligned}$$

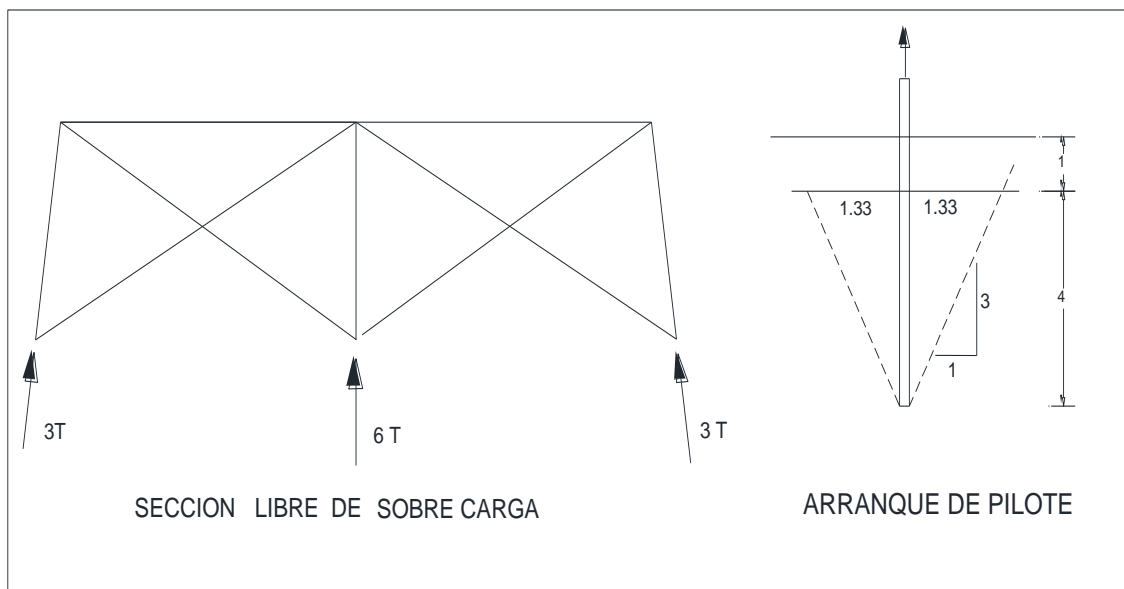
Resultado muy bajo con el real, por esta razón se utiliza la Formula Dinámica para este tipo de suelo.

#### **d. Fuerzas de extracción**

- Las olas en esta zona alcanzan los 3.00 m. de altura y producen doble efecto.
  - a) Impacto contra el muelle, valor que se ha reemplazado por la fuerza de sismo = 2.9 Tm

b) Erosión en el suelo haciendo peligrar la estabilidad del pilote, por lo que se necesita una adecuada penetración (principalmente en zonas donde revientan olas), para lo cual hacemos la siguiente comprobación:

- Fuerza de arranque: Estando el tablero muy bajo se presentan fuerzas de arranque en los pilotes y más en el pilote central por tener mayor área de influencia.



**Figura N° 07**

### **ARRANQUE DEL PILOTE POR FUERZA DEL OLEAJE**

- De acuerdo a “Cimentaciones de estructuras”, 1968, del Ing. Clarence W. Dunhan, por el cual presenta un análisis convincente:

Suponiendo la estructura libre de sobrecargas, la fuerza de reacción es 6.00 Tm para el pilote central; si se presenta una marejada con fuerza de impacto de arranque de 1.00 Tm/m<sup>2</sup>; para el área de influencia del pilote central de 25.00 m<sup>2</sup>, sería: (25.00 – 6.00) = 19.00 Tm (reacción a ser absorbidos por el terreno).

- El pilote (ver Figura N° 07) arrastra un volumen tronco cónico de suelo (inclinación 1/3); si la adherencia fuera 1.00 Tm/m<sup>2</sup> y considerando solo 4.00 m. de empotramiento, la fuerza de rotura sería:

- Longitud circunferencia superior =  $(1.33 \times 2 + 0.168) 3.14$   
= 8.88 m.

- Longitud circunferencia inferior =  $0.168 \times 3.14$   
= 0.528 m.

- Altura efectiva = 4.00 m.

- Área lateral =  $(8.88 + 0.528) \times 4$   
= 18.82 m<sup>2</sup>

- Adherencia =  $18.82 \text{ m}^2 \times 1.00 \text{ tn/m}^2$   
= 18.82 Tm

- ✓ Además, debe considerarse el peso del suelo, cuyo volumen es:

- Área superior =  $(2.828)^2 \times 3.14 / 4$   
= 6.28 m<sup>2</sup>

- Área inferior =  $(0.168)^2 \times 3.14 / 4$   
= 0.022 m<sup>2</sup>

- Altura efectiva = 4 m.

- Volumen de suelo =  $(6.28 + 0.022) \times 4 - 0.022 \times 4$   
= 12.5 m<sup>3</sup>

- Peso de suelo sumergido =  $(12.5 \text{ m}^3) \times 1.00 \text{ Tm/m}^3$   
= 12.50 Tm

$$\begin{aligned}
 - \text{ Total de resistencia} &= 18.82 + 12.50 \\
 &= 31 \text{ Tm} \geq 19 \text{ Tm (requeridas)}
 \end{aligned}$$

- ✓ Estaría cubierto este efecto de arranque si se logra un empotramiento de 4 m.
- ✓ La seguridad aumenta si se tiene en cuenta que en el tablero, los durmientes van separados 3" y además a lo largo de cada viga transversal se deja un espacio libre de 0.70 m. donde se colocan ventanas (amarradas con cuerdas de nylon) que se abren con la fuerza de las olas.

**e. Otros**

- Factor de oxidación

Todas las secciones de los elementos tienen que sobredimensionarse por efecto de la oxidación, ningún elemento debería tener menos de 3/8" de espesor.

La brisa marina es altamente corrosiva.

Los pernos de acero están sujetos a oxidación y abrasión por el movimiento constante de las olas, el Ø mínimo sería de 1", preferible 1 1/4" de acero especial.

- Pilotes metálicos tubulares

Con respecto a los tubos de acero para pilotes, estas adquisiciones deben hacerse a fábricas que garanticen la calidad del acero (USA, Brasil, Ucrania, etc), exigiendo la certificación de calidad y detalle de aleación.

El tratamiento al metal mediante pinturas epoxicas, demuestra que protegen el metal por corto tiempo.

- El sistema catódico con ánodos para evitar la corrosión es costoso, pero ayudaría a preservar la estructura en su conjunto.

#### 4.1.5 PILOTE DE CONCRETO ARMADO PREFABRICADO E HINCADO

##### a. Problema técnico a tratar

Se trata de una estructura aporricada apoyada en pilotes para una edificación de servicios. En este caso corresponde a un edificio de catorce niveles con auditorium, cuya cimentación está apoyada en pilotes de concreto armado prefabricados.

##### b. Detalles técnicos a considerar

- ✓ Se desarrolla este ejemplo para conocer la importancia que tiene una decisión sobre el tipo de pilotaje a realizar.
- ✓ A continuación, presentamos la distribución de la edificación:
  - Arquitectura = Área de 03 niveles con auditorium y 01 torre de 14 niveles.
  - Estructuras = Los ejes están a 5.60 m en X y 6.10 m en Y(Salvo el área del auditorium con 12.20 m entre ejes)

##### c. Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), según Figura N° 01

De acuerdo al registro de perforaciones se tiene:

- ✓ Estrato de suelo pobre, con 2.00 m. de espesor.
- ✓ Estrato de arcilla con mediana plasticidad (CL) con:

Altura (H) = 3.00 m de espesor

Suelo cohesivo con:

Peso volumétrico ( $\gamma$ ) = 1.668 kg/m<sup>3</sup>.

El promedio de 3 perforaciones resulta:

N = 14 (SPT)

En forma conservadora se estima:

Qu = N/8

$$\begin{aligned}
 &= 1.75 \text{ kg/cm}^2 \text{ (resistencia unitaria)} \\
 C_a &= qu/2 \\
 &= 0.875 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Coeficiente de adherencia)} \\
 \text{Coeficiente de seguridad} &= 3 \text{ resulta} \\
 C_a &= 0.29 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 2.9 \text{ Tm/m}^2
 \end{aligned}$$

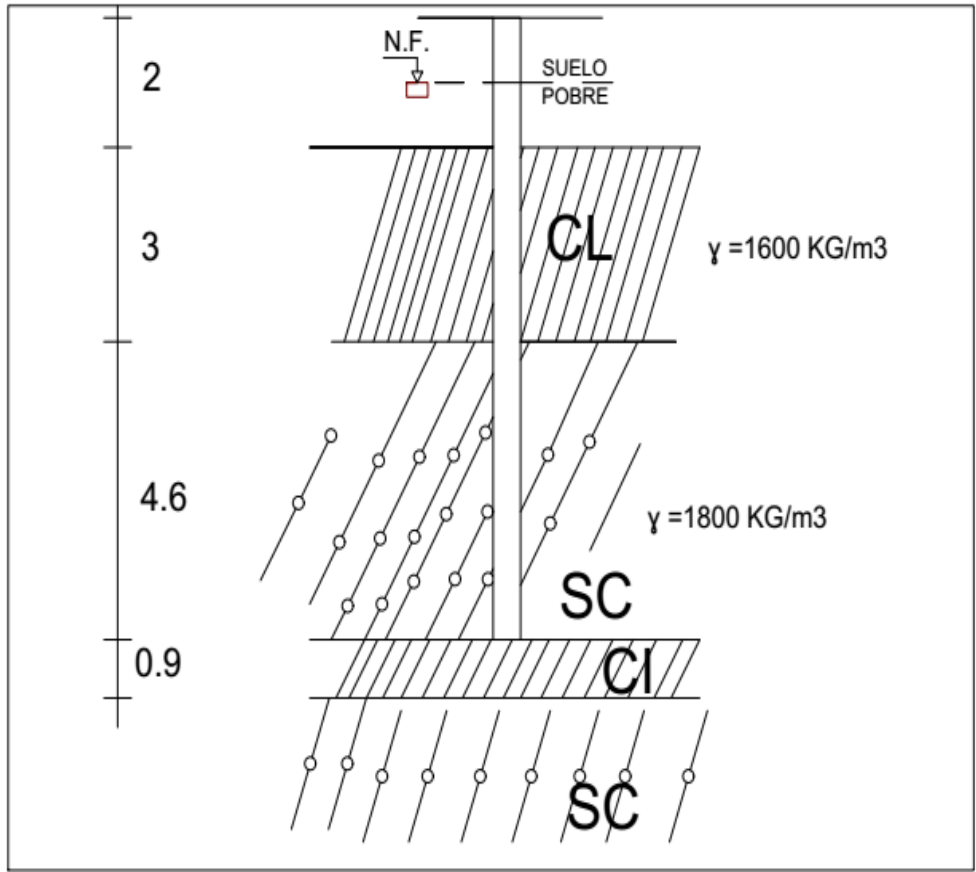
- ✓ Le sigue un estrato areno-arcilloso 4.60 m de espesor con

$$\gamma = 1,800 \text{ kg/m}^3$$

N en suelos arenosos determina la densidad del estrato el cual está ligado al ángulo de fricción interna  $\emptyset$ . En este caso la prueba SPT indica  $N > 50$  golpes, corresponde a **arena-arcillosa medianamente compacta**.

$$\begin{aligned}
 Q_u &= N/8 \\
 &= 6.08 \text{ kg/cm}^2 \\
 C.S. &= 3 \\
 C_a &= \text{Coeficiente de adherencia} \\
 &= 6.08/2 \times 3 \\
 &= 1.04 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 10.40 \text{ Tm/m}^2 \\
 \emptyset &= 35^\circ
 \end{aligned}$$

- ✓ Se observa que a -9.60 m se encuentra una **lente de arcilla** (CL) de 0.90 m de espesor y baja resistencia con Límite Líquido = 45%
- ✓ Sigue un estrato **franco areno-arcilloso** SC de alta resistencia con espesor indefinido.
- ✓ El pilotaje debe empotrar en este último estrato; para lo cual se requiere una longitud de pilote mínima de 9.60 m.



**FIGURA N° 01**

**DEFINICIÓN DE LOS ESTRATOS**

De	00.00 m.	a	-02.00 m.	SP
De	-02.00 m.	a	-05.00 m.	CL
De	-05.00 m.	a	-09.60 m.	SC
De	-09.60 m.	a	-10.50 m.	SC

**d. Comprobación de capacidad de carga**

✓ **Por fórmula estática**

$$Q_u = Q_p + Q_f$$

$Q_u$  = Capacidad última carga

$Q_p$  = Soporte por punta

$Q_f$  = Soporte por fricción

$$Q_p = q_u \cdot B^2$$

$$q_u = 1.3cN_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.4 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

(Según Mecánica de suelos y cimentaciones, 2004, Ing. Civil Carlos Crespo Villalaz, pág. 439)

$$q_u = \text{Capacidad última de carga unitaria}$$

$$c = \text{Cohesión (Por tratarse de suelo areno-arcilloso aceptemos } C = 0)$$

$$\gamma = \text{Peso volumétrico del suelo}$$

$$\gamma_{\text{sum}} = D_a - 1 / (1 + e)$$

$$D_a = \text{Densidad absoluta}$$

$$e = \% \text{ vacíos}$$

$$CL = 1.055 \text{ kg/m}^3$$

$$SC = 1.130 \text{ kg/m}^3$$

$$\emptyset = 35^\circ$$

y los factores de capacidad de carga adimensionales que son función de  $\emptyset$ :

$$N_c = 58$$

$$N_q = 42$$

$$N_\gamma = 42 \text{ (Salen del gráfico correspondiente de Terzaghi)}$$

$$D_f = \mathbf{9.60m}$$

Profundidad de la punta del pilote con respecto al nivel del terreno (m)

(Para la capacidad de carga no se considera el terreno pobre)

$$Q_p = (0.35 \times 0.35) (1.3 \times 0 \times 58 + 1.055 \times 3 \times 42 + 1.130 \times 4.6 \times 42 + 0.4 \times 1.130 \times 0.35 \times 42)$$

$$Q_p = 0.35 \times 0.35 (0 + 351 + 6.64) = 43.8 \text{ Tm}$$

$$Q_f = A_1 \cdot C'_a + A_2 \cdot C''_a + \dots$$

$$\begin{aligned}
A &= \text{Area lateral} \\
Q_f &= (4 \times 0.35 \times 3) 2.9 + (4 \times 0.35 \times 4.6) 10.4 \\
&= 12.18 + 66.98 \\
&= 79 \text{ Tm} \\
Q_u &= 43 + 79 \\
&= 122 \text{ Tm}
\end{aligned}$$

con coeficiente de seguridad de 3

$$Q_u = 41 \text{ Tm}$$

Que se puede asimilar a:

$$Q_u = 50 \text{ Tm}$$

con coeficiente de seguridad de 2.44 que es aceptable

Con este valor se pre- diseñó:

- Para la zapata = Z-17 carga 624 Tm 15 pilotes;  
bloque de pilotes entre ejes (2.10 m. x 6.10 m.)
- Para la zapata = Z-25 carga 1,912 Tm 49 pilotes;  
bloque de pilotes entre ejes (6.10 x 6.10)

✓ **Por fórmula dinámica**

Para este caso se va a utilizar el martinete DELMAG-12

$$\begin{aligned}
\text{Peso del martillo} &= 2,565 \text{ kg} \\
\text{Peso de la maza} &= 1,250 \text{ kg} \\
\text{Energía} &= 3,120 \text{ kg-m} \\
\text{N}^\circ \text{ de golpes por minuto} &= 42 - 60 \\
s &= E \cdot R / w (R + Q) - c \cdot L \\
w &= \text{capacidad de carga final} \\
&= (\text{Carga admisible } 50 \text{ Tm})
\end{aligned}$$

E	=	energía por golpe kg-m
R	=	peso de la maza Kg
C	=	factor de elasticidad del pilote;
Para el concreto utilizar	=	0.3
L	=	longitud del pilote
	=	9.60 m
Q	=	peso del pilote en kg
	=	$(0.35 \times 0.35 \times 9.60 \times 2.40 =$
	=	2,822 kg
s	=	penetración media en mm,
		en los últimos 10 golpes.
w	=	$E \cdot R / (c \cdot L + s) (R+Q)$
Utilizar coeficiente de seguridad	=	c.s.
c.s.	=	2
s	=	$3120 \times 1250 / 100(1250+822) - 0.3 \times 9.60$
s	=	18 - 3
s	=	15mm,

lo que representa 7 golpes como rechazo para lograr una resistencia admisible de 50

Tm con coeficiente de seguridad igual a 2

#### e. Diseño del pilotaje.

- ✓ Con la información de suelos y con las pruebas de hinca realizadas, concluyo que el diseñador decidió usar pilotes prefabricados de 9.60 m de longitud atravesando el estrato de arcilla blanda y empotrando mínimo 1.00 m. en el estrato resistente.
- ✓ Con esta decisión se fabricaron 247 pilotes de concreto armado, según:

- De sección: 35 cm. x 35 cm.

Largo: 9.60 m.

- De sección: 40 cm. x 40 cm.

Largo: 9.60 m.

✓ Se diseñaron las zapatas – cabezales en todos los pórticos.

✓ Para el pórtico del análisis, se usaron pilotes de 50.00 Tm

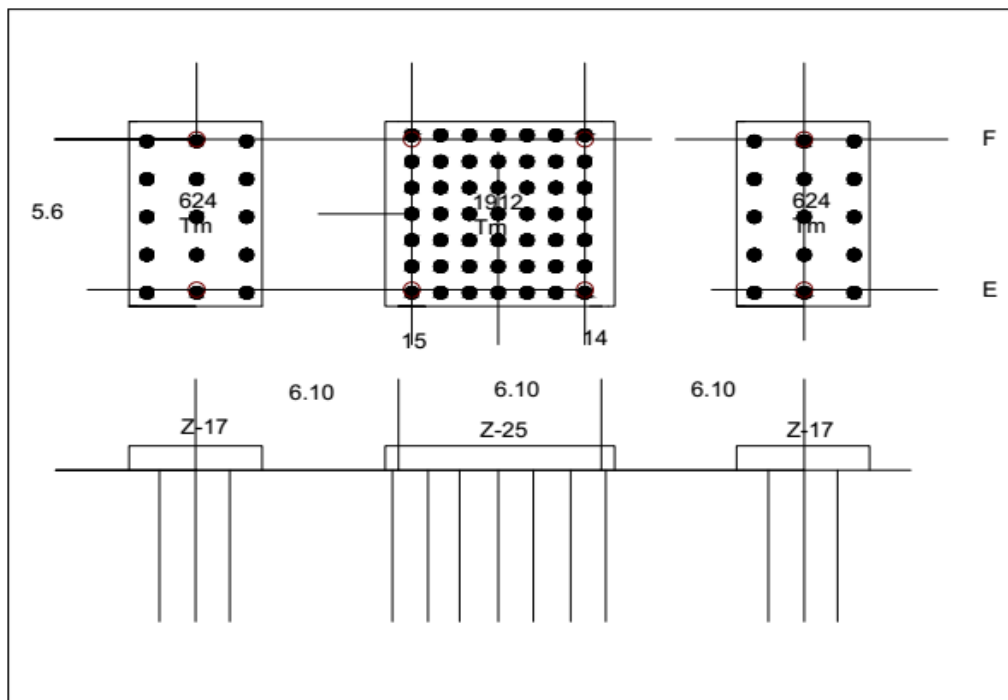
### **Pórtico analizado:**

Pórtico F:

- De 3 crujiás

- De 3 zapatas - cabezales

según Figura N° 02:



**FIGURA N° 02**

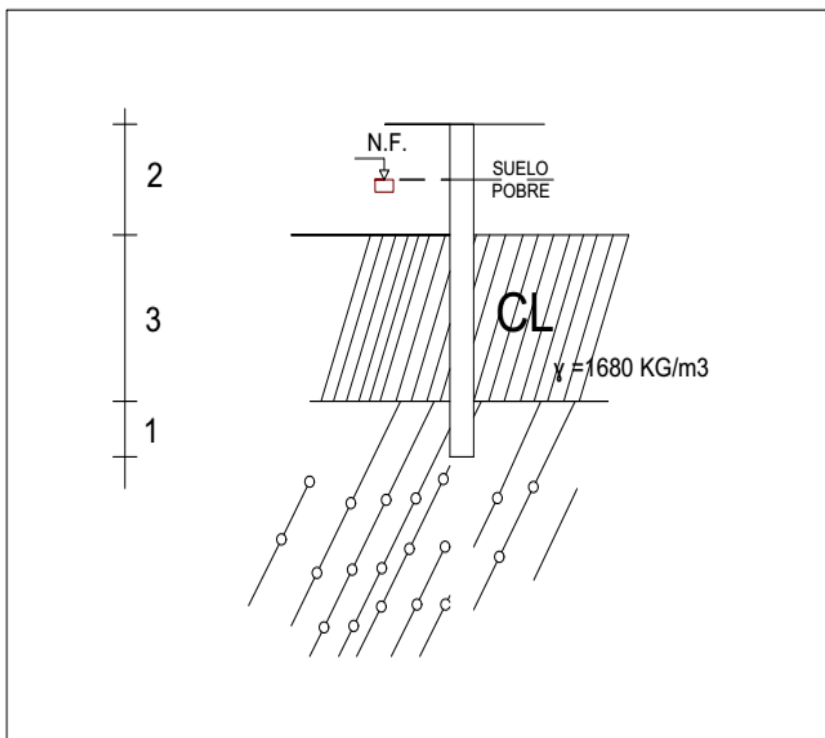
### **PÓRTICO ANALIZADO**

✓ La zapata	Z-17	lleva	15 pilotes cada una
La zapata	Z-25	lleva	49 pilotes cada una

**f. Ejecución de Obra**

**En la ejecución de la hinca** se ha llegado de 90 hasta 120 golpes/10 cm. y el pilote ya no penetra, habiéndose alcanzado una profundidad “promedio” de sólo 6.00 m. (Con un martinete D-22 se hubiera presentado similar problema).

La figura representa tal como han quedado los pilotes en promedio, luego del proceso de hinca, mediante martinete DELMAG D-12, donde se puede apreciar que no penetraron hasta la profundidad de diseño del elemento prefabricado con una longitud de 9.60 m.



**FIGURA N° 03**

**NIVEL DE HINCADO PROMEDIO DE PILOTES**

## **h. Evaluación técnica**

- Según el pilote seleccionado
- Según el estudio de mecánica de suelos (EMS) realizado

### **Según el pilote seleccionado**

- ✓ Por la poca profundidad alcanzada en el “grupo de pilotes” de hecho, el tipo de pilote no es el adecuado.
- ✓ Se ha debido fabricar pilotes con tubo y bocas de salida (Pág. 347 DUNHAN - Cimentación de Estructuras) para utilizar chorro de agua y así poder bajar el pilote.
- ✓ Este sistema utiliza una bomba de agua de alta presión; se inyecta el agua (JET) y el agua sale por las paredes del pilote con el suelo y permite bajar el pilote.
- ✓ El problema es que todo el terreno se disturba.
- ✓ Además, hay un costo adicional muy importante y un trabajo complicado, sin garantía de éxito.
- ✓ Mejor hubiera sido utilizar pilotes perforados ó mejor aún pilotes tipo FRANKI con perforación hasta 9.60 m. ó más y hacer el bulbo pasando la capa de arcilla.

### **Según el estudio de mecánica de suelos (EMS) realizado**

- ✓ Resulta que, según el EMS, hay un estrato de arcilla más abajo, posiblemente lentes que no fueron detectados en las pruebas de hinca.
- ✓ Estando hecho el trabajo, pero existiendo el estrato de arcilla de 0.90, será necesario verificar nuevamente la capacidad de carga de los “grupos de pilotes” por la poca profundidad alcanzada y luego calcular el asentamiento por efecto de la existencia de la capa de arcilla para el “grupo de pilotes”.

#### **h. Verificando para un pilote aislado**

$$Q_p = A \cdot q_u$$
$$= A [1.3 C N_c + (\gamma_1 \cdot D_{fl} + \dots) N_q + 0.4 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma]$$

(Pilotes cuadrados)

$$Q_p = (0.35 \times 0.35) (1.3 \times 0 \times 58 + 1.055 \times 3 \times 42 + 1.130 \times 1 \times 42 +$$
$$0.4 \times 0.35 \times 1.13 \times 42)$$

$$= 23 \text{ Tm}$$

$$Q_f = 4 \times 0.35 (2.9 \times 3 + 10.4 \times 1)$$

$$= 27 \text{ Tm}$$

$$Q_u = 50 \text{ Tm};$$

aceptando un coeficiente de seguridad = 2

resulta sólo una capacidad de carga = 25 Tm

o sea que “teóricamente” no alcanza la carga de diseño.

En caso se haga una prueba de carga que seguramente superara una carga admisible de 50 Tm, sigue existiendo la limitación del “asentamiento” por la existencia de la capa de arcilla que subyace.

#### **i. Verificando para el grupo de pilotes**

Para el grupo de pilotes de la zapata- cabezal Z-25

Según el Ing. Karl Terzaghi en “Mecánica de Suelos”, Pág. 535:

$$Q_g = q_d \cdot B \cdot L + 2 (B + L) D_f \cdot S$$

$Q_g$  = capacidad de carga del grupo de pilotes (carga de falla)

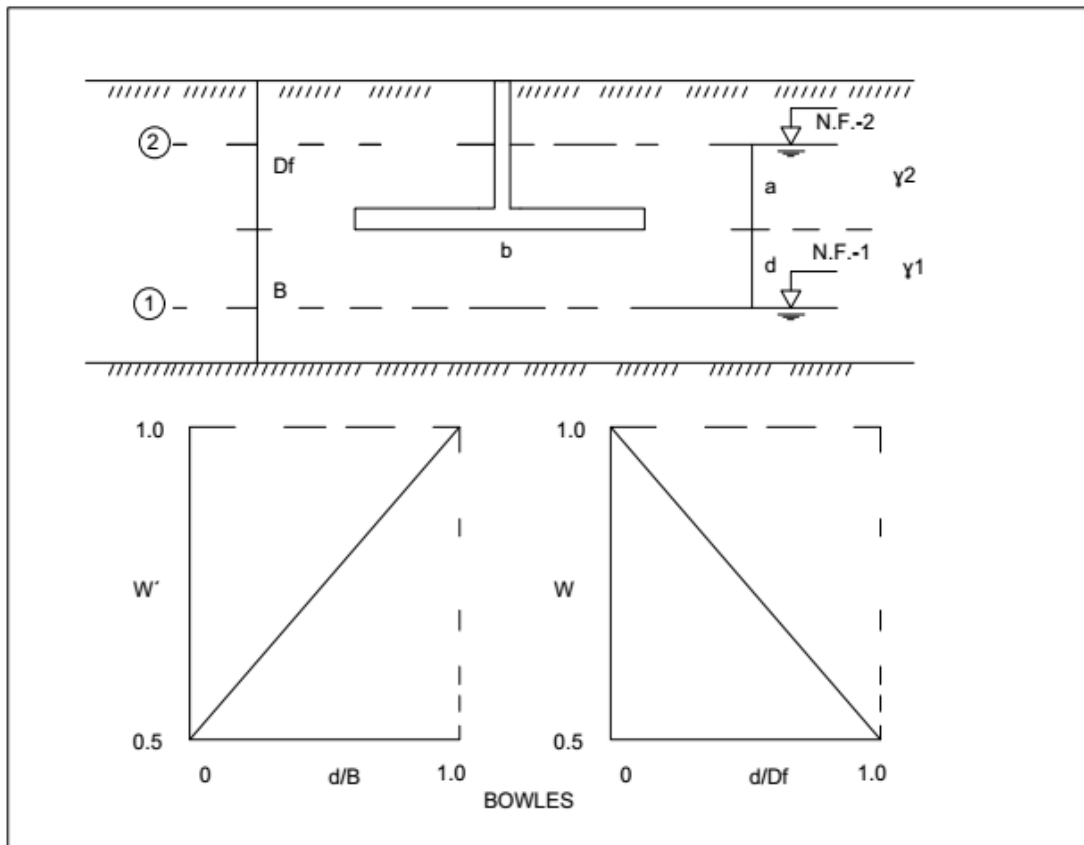
siendo  $Q$  admisible =  $Q_g/3$

$B \cdot L$  = corresponde al área de la base

$2 (B + L) D_f$  = área lateral (para zapata cuadrada  $B=L$ )

S = resistencia unitaria media al corte del suelo, entre la superficie y la profundidad  $D_f$

$q_d$  = capacidad de carga de falla por unidad de área, de una superficie de dimensiones  $B \times L$  situada a una profundidad  $D_f$  según la siguiente Figura:



**FIGURA N° 04**

**PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN**

✓ Para el caso de:

$$\gamma_1 = 1.668 \text{ kg/m}^3 \quad a/D_f = 4/6 = 0.67$$

Del gráfico (b)  $w = 0.67$

$$\gamma_{sc}(1) = 0.67 \times 1.68 = 1.125$$

✓ Para el caso de:

$$\gamma_2 = 1.8 \quad a/D_f = 5/6 \quad = 0.83$$

Del grafico (b):  $w = 0.58$

$$\gamma_{sc}(2) = 0.58 \times 1.8 = 1.044$$

$$q_d = 1.3 C N_c + \gamma_{CL} D_f N_q + 0.4 \gamma_{sc} B N_{\gamma} \dots \dots \dots C = 0$$

$$q_d = 0 + 1.125 \times 6 \times 41.4 + 0.4 \times 1.044 \times 6.1 \times 42.4 = 387 \text{ T/m}^2$$

Perímetro del área lateral del grupo de pilotes =  $6.1 \times 4$

$$= 24.4 \text{ m}$$

$$Q_g = 387 (6.1 \times 6.1) + 2.9 (3 \times 24.4) + 10.4 (1 \times 24.4)$$

$$Q_g = 14,400 + 212 + 253$$

$$Q_g = 14,865 \text{ Tm}$$

Si usamos:

Coficiente de seguridad = 3

se tiene:  $14,865/3 = 4,955 > 1,912 \text{ Tm}$

$Q_g = 4,955 \text{ Tm} > 1,912 \text{ Tm}$  del proyecto;

por lo tanto, no debe fallar por la base.

✓ Por otro lado, como un cálculo de criterio, teniendo en cuenta que el N de golpes del SPT es del orden de 50, corresponde a un terreno areno-arcilloso compacto con una capacidad admisible de  $N/8 = 6 \text{ kg/cm}^2 = 60 \text{ Tm/m}^2$ .

Considerando a “punta de pilotes” un área conservadora de  $7.1 \times 7.10 = 50.41 \text{ m}^2$  resulta

$$Q = 60 \times 50.41$$

$$= 3,024 \text{ Tm} > 1,912 \text{ Tm del proyecto}$$

✓ Corroborando, usando NAVDOCKS DM-7, se tiene:

$$Q_g = (\gamma_1 H_1 N_{q2} + 0.4 \gamma_2 B N \gamma_2) B \times L + 2(Ca) (B + L) H_1 - B \times L \gamma_1 H_1$$

Con los siguientes parámetros:

$$\emptyset = 35^\circ \quad N_c = 57.8$$

$$N_q = 41.4$$

$$N_g = 42.4$$

$$C = 0$$

$$H_1 = D_f$$

$$D_f = 6.00 \text{ m.}$$

$$B = 6.10 \text{ m.}$$

$$\checkmark \text{ Para } \gamma_{CL}: \quad a/D_f = 4/6 = 0.67$$

$$\text{Del gráfico (b):} \quad w = 0.67$$

$$\gamma_{CL} = 0.67 \times 1.68 = 1.125 \text{ Tm/m}^3$$

$$\checkmark \text{ Para } \gamma_{SC}: \quad a'/D_f = 5/6 = 0.83$$

$$\text{Del gráfico (b):} \quad w = 0.585$$

$$\gamma_{SC} = 0.58 \times 1.8 = 1.044 \text{ Tm/m}^3$$

✓ Reemplazando y sin considerar los dos últimos términos de la fórmula por no ser significativos, se tiene:

$$Q_g = (1.125 \times 6 \times 41.4 + 0.4 \times 1.053 \times 6.1 \times 42.2) (6.1 \times 61)$$

$$= (279.45 + 108.42) (37.21)$$

$$= 14,432 \text{ Tm}$$

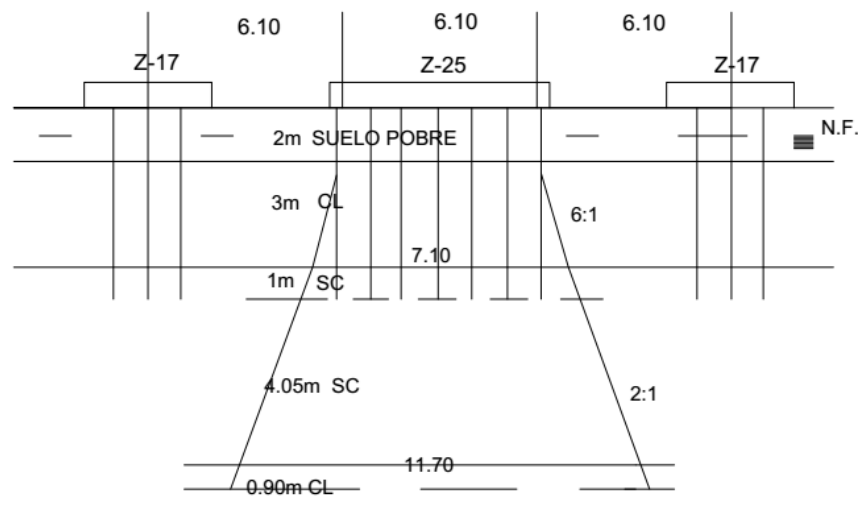
$$\text{Coef. de seguridad} = 3$$

$$\text{se tiene: } 14,432/3 = 4,810 > 1,912 \text{ Tm}$$

significa que esta zapata –cabezal no debe fallar por la base.

- ✓ Esta verificación de “fallo por la base” en la zapata-cabezal Z-25, es necesario hacerla para el resto de zapatas; debido a que, en cada una, la profundidad de hinca es variable inclusive las características del suelo pueden variar.
- ✓ Del resumen de verificación, se observa que en un 35.7% de zapatas, el nivel de base de “puntas de pilotes” resulta sobrecargado. En tal razón la mejor alternativa sería disminuir el peso sobre las zapatas, o sea eliminar varios pisos.
- ✓ Falta verificar los asentamientos para esta zapata Z-25, por efecto de la lente de arcilla:
- ✓ El asentamiento lo constituyen: El que se produce en el estrato SC y el del estrato de la lente de arcilla CL, a nivel -9.60 m
- ✓ Para suelos arenosos: asentamiento en estrato SC., según Figura N° 05

$$S = u_0 \cdot u_1 \cdot q \cdot B \cdot (1 - \mu^2 / E_s)$$



**FIGURA N° 05**

### **PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN**

S = asentamiento(cm)

$u_0, u_1$  = representados en la Figura adjunta, dependen de la ubicación de la cimentación debajo del terreno y la profundidad del estrato. Ambos valores significan un coeficiente de forma

- $q$  = presión de contacto a nivel general de las puntas del grupo de pilotes  
 $\mu$  = relación de Poisson (Relación entre la contracción transversal unitaria y el alargamiento longitudinal unitario), 0.2 (estimado)  
 $E_s$  = Módulo de elasticidad del suelo  
 = 830 kg/cm<sup>2</sup> (Valor estimado))  
 $B$  = dimensión lateral de la cimentación a nivel de “punta”

Según los gráficos (Abaco de JAMBU): Figura N° 06 y 07

- $u_0 \dots \dots D/B$  = 6/7.1  
 = 0.845  
 $L/B = 7.1/7.1$  = 1 \dots \dots Gráfico  $u_0 = 0.78$   
 $u_1 \dots \dots H/B$  = 7.1/7.1  
 = 1 \dots \dots  
 $L/B$  = 1 \dots \dots Gráfico  $u_1 = 0.45$   
 $q$  = 1912/7.1 x 7.1  
 = 37.92 T/m<sup>2</sup>  
 = 3.8 kg/cm<sup>2</sup>  
 El valor H = 7.1,  
 corresponde a una presión p = 0.25q  
 que corresponde a un  
 Área = 201 m<sup>2</sup>  
 Lado = 14.20 m  
 Valores menores de p = 0.25  
 $q$  no tienen importancia para los asentamientos.  
 $S$  = 0.78 x 0.45 x 3.8 x 710 (1-0.2<sup>2</sup>/830)

$$= 1.1 \text{ cm}$$

Asentamiento estrato SC

Para suelos arcillosos (Asentamiento en la lente de arcilla):

$$S = C_c \cdot H / (1 + e_0) \cdot [\log(P_i + \Delta P / P_i)]$$

$P_i$  = Presión a la que el suelo se encuentra sometido por efecto de la cubierta. O sea, el peso sumergido del suelo, más el peso del material sobre la napa freática.

$$\text{Peso volumétrico seco} = D_a$$

$$D_a = \text{Densidad absoluta}$$

$$D_a / (1 + e) = 2.688 / (1 + 0.6)$$

$$= 1.68 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso volumétrico saturado} = D_a + e / (1 + e)$$

$$\text{Peso volumétrico sumergido} = D_a - 1 / (1 + e)$$

✓ Para la arcilla:

$$(\text{CL } e = 0.6) \text{ (sumergido)} \quad 2.688 - 1 / (1 + 0.6) = 1.055 \text{ gr/cm}^3$$

✓ Para areno-arcilloso:

$$(\text{SC } e = 0.49) \text{ (sumergido)} \quad 2.688 - 1 / (1 + 0.49) = 1.13 \text{ gr/cm}^3$$

$$P_i = 1.68 \times 100 + 1.055 \times 300 + 1.13 \times 460 = 1,004 \text{ gr/cm}^2$$

$$e_0 = 0.6 \text{ (arcilla de baja plasticidad) } (e_0)$$

= relación de vacíos inicial (relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos (peso volumétrico =  $D_a / (1 + e)$ .)

$$C_c = \text{índice de compresión}$$

Si se conoce el valor  $C_c$  de un estrato de arcilla, la compresión que produciría una carga ( $\Delta P$ ) puede calcularse por medio de la ecuación indicada.

Para arcillas normalmente consolidadas, el valor  $C_c$  puede ser estimado en forma aproximada utilizando el valor  $C_c = 0.009 (LL-10)$  lo que indica que sólo basta tener el Límite Líquido del estrato; existe una correlación muy estrecha entre el  $C_c$  y el LL.

El caso en estudio se tiene  $LL=45\%$  por consiguiente  $C_c = 0.009 (45 - 10) = 0.315$

$H' =$  espesor del estrato que va a ser consolidado por la carga = 0.90m

$\Delta P =$  aumento de la intensidad de presión debida a la carga de cimentación y a la profundidad deseada.

$\Delta P = 1912 / 11.15 \times 11.15 = 15.38 \text{ Tm/m}^2 = 1.538 \text{ kg/cm}^2$  (Dimensiones calculadas con talud 2:1 hasta la mitad del estrato de arcilla (altura adicional = 4.05)

$S = 0.315 \times 0.9 / 1 + 0.6 [\log (1.004 + 1.538 / 1.004)] = 7.01 \text{ cm}$

El asentamiento total, para la Z-25; sin considerar superposición de presiones por efecto de zapatas adyacentes resulta  $S = S_{sc} + S_{CL} = 1.1 + 7.01 = 8.11 \text{ cm}$ .

Para el pórtico del ejemplo; el asentamiento calculado en la zapata Z-17 es

$S = S_{sc} + S_{CL} = 0.45 + 8.00 = 8.45 \text{ cm}$

Con este procedimiento se calculan los asentamientos para todas las zapatas.

Estos asentamientos deberán ser corregidos en el caso que haya superposición de presiones por zapatas adyacentes; para el pórtico en estudio la superposición de presiones es muy pequeña; en los otros pórticos si se presenta este problema, agravando el problema.

# ABACO DE JAMBU

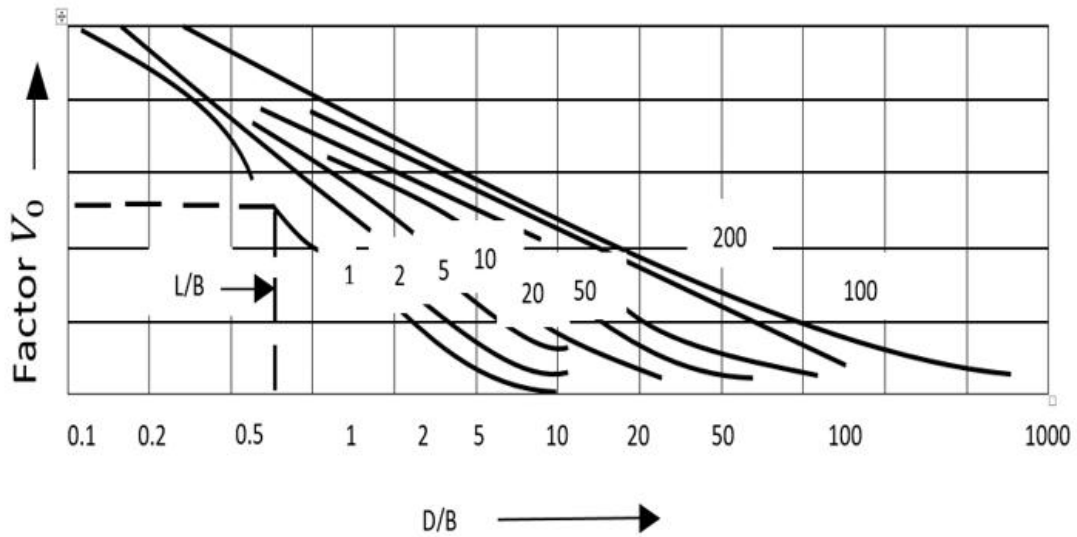
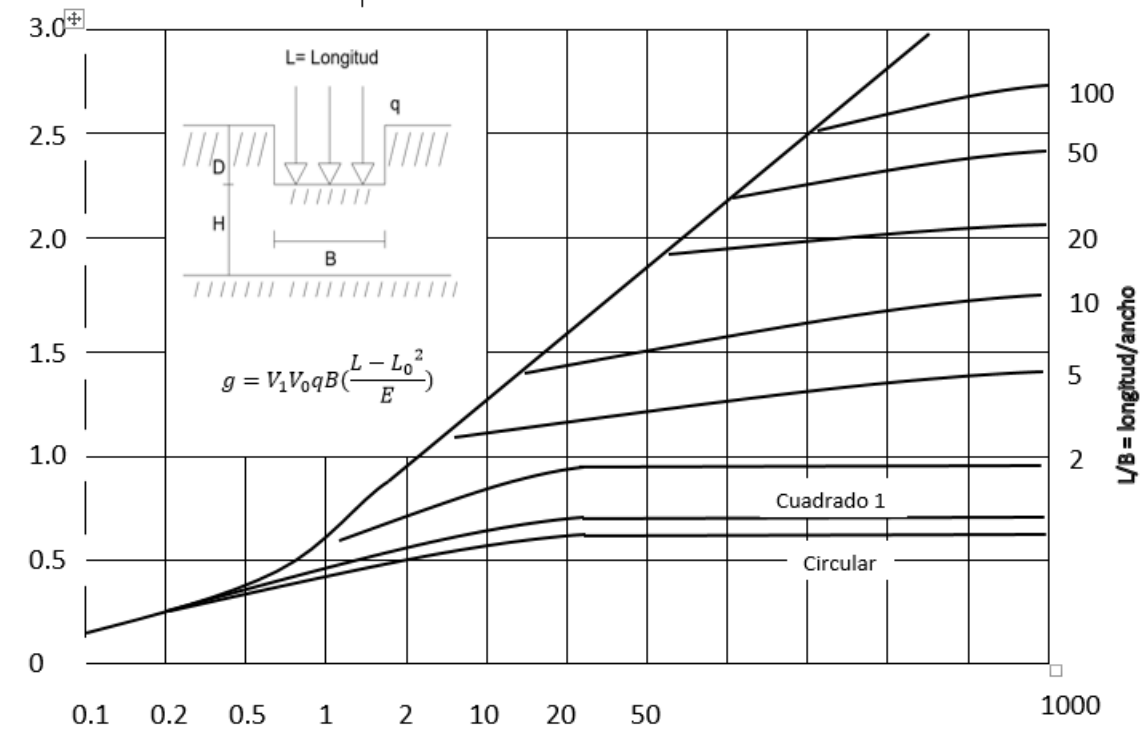


FIGURA N° 06

ÁBACOS DE JAMBU

✓ **Mostramos el pórtico “F”**

Ejes	zapatas	asentamiento absoluto (cm)		asentamiento diferencial
		Ssc	Scl (Lente de arcilla)	crítico
1-F	Z-17	0.45	8.00	6.56
15,29, F	Z-25	1.10	7.01	
43-F	Z-17	0.45	8.00	6.90

El Ing. Karl Terzaghi recomienda para estructuras ordinarias un asentamiento diferencial max. de 2.5 cm

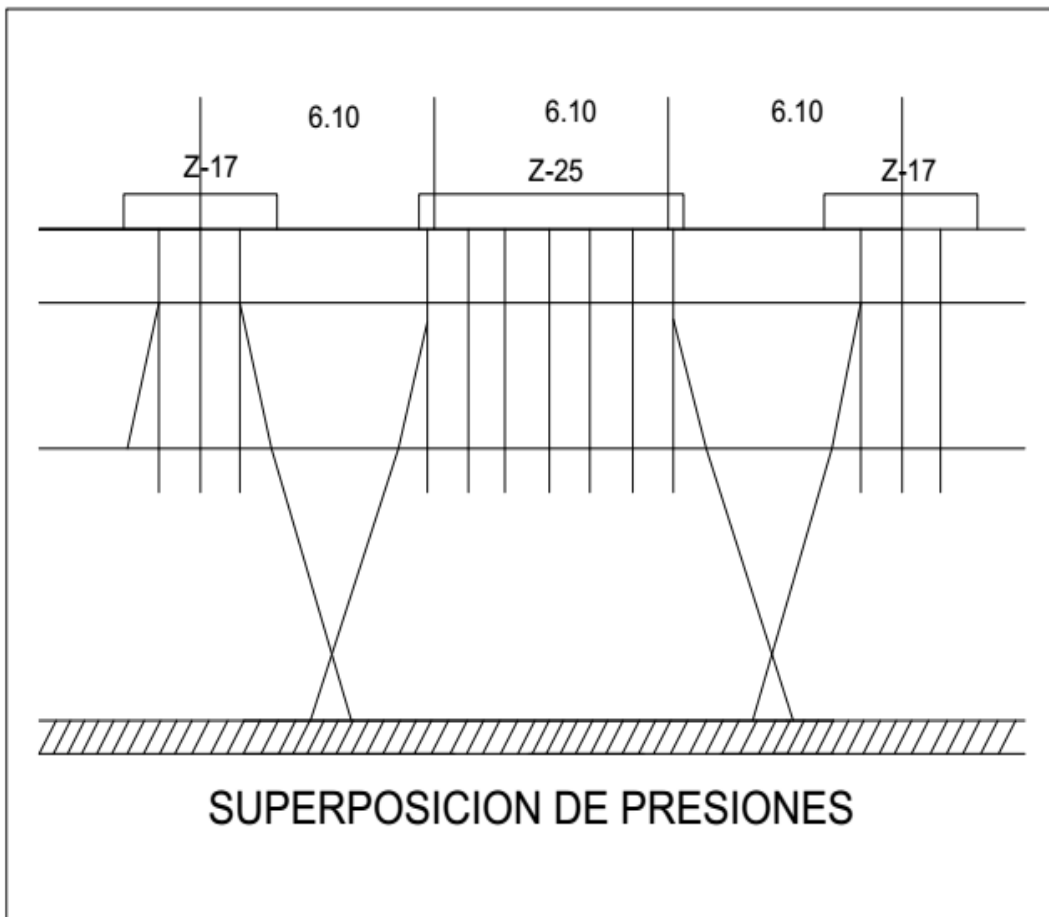
En el pórtico de 3 crujiás, puede asentarse una zapata exterior 0.45 y la zapata central 7.01; se produce un asentamiento diferencial de 6.56 cm. Con este asentamiento diferencial, ingresando a una comprobación estructural se generan momentos muy altos.

En este caso, Pórtico “F” el momento aumenta 1.65 veces mayor de lo que puede resistir la viga que une el pórtico.

✓ **Conclusiones:**

- Cuando se va a atravesar suelos areno-arcillosos asegurarse que la hincas sea posible.
- El cálculo de asentamientos puede ser más sofisticado, haciendo pruebas de laboratorio y es posible que sean menores; pero estos resultados ya indican un riesgo.

- También debe tenerse en cuenta asentamientos a través del tiempo.  
Por estas razones el proyecto ha quedado hasta la fecha sólo en tres niveles, como solución.
- Se ha desarrollado este ejemplo para explicar los problemas que surgen de una mala decisión en el diseño del pilotaje, según Figura n° 07



**FIGURA N° 07**

**SUPERPOSICIONES DE PRESIONES**

## **V. DISCUSIÓN**

### **Discusión de los resultados**

A manera de discusión de los resultados presento a continuación las diferentes ventajas y desventajas entre diferentes opciones de cimentaciones profundas por pilotaje, según lo siguiente:

#### **5.1 Pilotes hincados**

##### **a. Ventajas**

El material del pilote debe ser inspeccionado antes de introducirlo en el suelo. Es estable en suelo exprimible.

No se daña con el levantamiento del terreno ocasionado por el hundimiento de pilotes adyacentes.

El procedimiento de construcción no se ve afectado por el agua subterránea.

Pueden ser llevados fácilmente por encima del nivel del terreno, especialmente en estructuras marítimas.

Pueden ser hundidos en longitudes muy largas.

##### **b. Desventajas**

Se pueden romper durante hundimientos difíciles, o peor aún pueden sufrir daños mayores no visibles en condiciones difíciles de hundimiento.

No son económicos si la cantidad de material en el pilote depende de los esfuerzos de manejo y hundimiento más que de los esfuerzos de la carga permanente.

El ruido y la vibración durante el hundimiento pueden causar molestias o daños.

El desplazamiento de suelo durante el hundimiento de pilotes en grupo puede dañar estructuras adyacentes o causar levantamiento de pilotes adyacentes al levantar el suelo.

No pueden ser hundidos en diámetros muy grandes.

No se pueden hundir en condiciones de poco espacio.

## **5.2 Pilotes hincados y vaciados in situ**

### **a. Ventajas**

La longitud se puede ajustar fácilmente hasta alcanzar niveles variables en el estrato de carga.

El tubo se hunde con un extremo cerrado, evitando el paso del agua subterránea.

Es posible formar una base agrandada en la mayoría de los tipos.

El material del pilote no está determinado por los esfuerzos de manejo o hundimiento.

El ruido y la vibración se pueden reducir en algunos tipos.

### **b. Desventajas**

Puede ocurrir un desgaste o estrechamiento en el suelo a menos que se tenga mucho cuidado al colar con concreto el cuerpo del pilote.

El fuste de concreto se puede debilitar si hay un gran flujo de agua artesisiana hacia el exterior de éste.

El concreto no puede ser inspeccionado después de terminado.

El desplazamiento del concreto puede dañar el concreto de pilotes adyacentes o causar levantamiento de los mismos al levantar el suelo.

El ruido, la vibración y el desplazamiento del suelo puede causar molestias o daños a estructuras adyacentes.

No pueden ser utilizados en estructuras de ríos o mares sin adaptaciones especiales.

Existen limitaciones en la longitud de hundimiento en la mayoría de los tipos.

No se pueden hundir en diámetros muy grandes.

No se pueden hacer ampliaciones muy grandes en los extremos.

### **5.3 Pilotes perforados y vaciados in situ**

#### **a. Ventajas**

La longitud puede ser variada fácilmente para adaptarse a las diversas condiciones del suelo.

El suelo removido durante la perforación puede ser inspeccionado, de ser necesario, se puede muestrear o realizar pruebas in situ.

Se pueden instalar en diámetros muy grandes.

Son posibles alargamientos de hasta dos o tres diámetros en arcillas.

El material del pilote no depende de las condiciones de manejo o hundimiento.

Se pueden instalar en grandes longitudes.

Se pueden colocar sin ruido, ni vibración apreciable.

Se pueden instalar en condiciones de poca altura libre.

No existe el riesgo de levantamiento del suelo.

#### **b. Desventajas**

Son susceptibles a desgaste o “estrechamiento” en tierra “exprimible”.

El concreto no se instala en condiciones ideales y no puede ser inspeccionado luego.

El agua bajo presión artesiana puede empujar el cuerpo del pilote lavando el cemento.

No se pueden formar extremos alargados en materiales no cohesivos.

No se pueden extender fácilmente sobre el nivel del suelo, especialmente en estructuras de ríos y mares.

Los métodos de perforación pueden aflojar suelos arenosos o gravosos.

En algunos casos se deberán emplear lodos bentónicos para estabilizar el suelo.

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

#### **a. Hipótesis general**

El uso de la propuesta tecnológica para cimentaciones con pilotaje en edificaciones tanto de vivienda como de servicios, permite disminuir los riesgos por causa de asentamientos que posteriormente conllevan a la presentación de fisuras y eventualmente el colapso de las estructuras.

Con los resultados obtenidos, tanto de la utilización de pilotes de distintos materiales estructurales, las cargas obtenidas de los diseños, pueden comprobar que se ha superado la capacidad admisible del suelo, asegurando la estabilidad de la estructura en distintos tipos de suelos.

#### **b. Hipótesis Secundarias**

- ✓ El adecuado análisis del estado de las cimentaciones de las edificaciones que permitirá tomar acción para la mejora de cimentaciones en diseño y control.
- ✓ Realizado el análisis tanto por diseño directo como por la aplicación de la teoría del

fabricante del equipo de pilotaje, se afirma lo señalado.

- ✓ El desarrollo de cálculos comprobatorios para diseñar pilotes servirá de base teórica a los profesionales involucrados en la cimentación de pilotes.
- ✓ Definitivamente los resultados validan lo señalado.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Con este aporte, se demuestra que se pueden cimentar suelos que antes no utilizábamos por alguna razón estructural.

El grado de certeza de la estabilidad de la estructura queda reafirmada por el uso de cimentaciones profundas por pilotaje.

El mayor gasto a invertir en cimentación, contribuye a asegurar a futuro una inversión cuantiosa por efectos de sismo.

A medida que la situación económica de nuestro país mejore continuamente, será necesario implementar una planta de prefabricados, desarrollando diferentes productos finales, tales como pilotes, para su rápida utilización de acuerdo a la demanda cada vez más creciente.

Recomendar la utilización de cimentaciones por pilotaje en suelos de relleno que por su ubicación resultan de alto valor de uso, con lo cual el costo de la cimentación se prorroga y no encarece el proyecto definitivo.

Crear conciencia de la necesidad de utilizar equipos más modernos para nuestra sociedad cada vez más demandante.

## **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1.- ALVA HURTADO JORGE ELÍAS DOMINGO, 2015, Lima - Perú, Diseño de Cimentaciones, Fondo Editorial Instituto de la Construcción y Gerencia
- 2.- DELMAG – MASCHINENFABRIK – REINHOLD DORNFELD, Manual de utilización del Martinete D-12 y D-22.
- 3.- JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ SALAS, 1980, Madrid - España, Geotecnia y Cimientos III, Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotecnia, Editorial Rueda
- 4.- FERNANDO MUZAS LABAD, 2007, Madrid -España, Mecánica del Suelo y Cimentaciones Volumen I y II, Editorial Fundación Escuela de la Edificación.
- 5.- NAVFACDM-7, 1982, Design Manual Soil Mchanics, Foundations and Earth Structures, Departament of the Navy, Naval Facilites Engineering Command, US Navy.
- 6.- CARLOS OTEO MAZO, 2001, Madrid - España, Pilotes de Extraccion, Jornadas Técnicas de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica.
7. - RALPH BRAZELTON PECK, 1967, USA, Soil Mechanics in Engineering Practice.
- 8.- ANTONIO SORIANO PEÑA, 2001, Madrid - España, Pilotes Hincados, Jornadas Técnicas de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica.
9. - KAR VON TERZAGUI, 1967, USA, Soil Mechanics in Engineering Practice.

- 10- RODRIGO FABIÁN URBINA PALACIOS, 2004, Piura – Perú, Tesis “Guía para el diseño de pilotes”, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Piura.

## **ANEXOS**

- 1. Matriz de Consistencia**
- 2. Validación y Confiabilidad**
- 3. Encuestas (Juicio de Expertos)**

## **1. Matriz de Consistencia**

TECNOLOGIA PARA OBIETACIONES POR PILOTAJE EN PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL

Metodología

Metodología

Matriz de Consistencia del Proyecto de Investigación

Problema	Objetivo General	Hipótesis General	Variables e Indicadores			Metodología
			Variables	Indicadores	Indicadores	
<p><b>Problema Principal</b></p> <p>1. ¿Cuál sería la propuesta tecnológica que de solución eficiente a las operaciones con el uso de pilotoje en el tablero de control que permitan su uso en edificaciones tanto de vivienda como de servicio?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Desarrollar y poner a disposición una propuesta tecnológica para operaciones con pilotoje en edificaciones tanto de vivienda como de servicio.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>El uso de la propuesta tecnológica para operaciones con pilotoje en edificaciones tanto de vivienda como de servicio, permite disminuir los riesgos por causas de perturbación a la presentación de formas y dimensionalidad de las indicaciones estructurales.</p>	<p><b>Variable Independiente VI</b></p> <p>Tecnología para Operaciones por Pilotoje en Proyectos de Ingeniería Civil.</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>Cantidad de parámetros de diseño y control.</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>Acción de Interacción</p> <p>Generación de Ingeniería y Proyecto de las Influencias</p>	<p>La metodología a utilizar para el desarrollo de la tesis será en general y en campo. Concluyendo la investigación es de carácter descriptiva, explorativa, retrospectiva y correlacional.</p>
			<p><b>Variable Dependiente VD</b></p> <p>Asentamiento</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>% diferencia de asentamientos</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>Generación de Ingeniería y Proyecto de las Influencias</p>	
			<p>Falla estructural</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>% de fallas</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>Generación de Ingeniería y Proyecto de las Influencias</p>	
			<p>Otros</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>% de Otros</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>Generación de Ingeniería y Proyecto de las Influencias</p>	
			<p>Calidad estructural de la edificación</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>% de edificaciones en calidad alta</p>	<p><b>Indicador</b></p> <p>Generación de Ingeniería y Proyecto de las Influencias</p>	
<p><b>Problemas Secundarios</b></p> <p>¿Cuáles son los factores que influyen en el impacto del uso de pilotoje en las operaciones de proyectos de ingeniería?</p> <p>¿Cuáles son los factores involucrados para el diseño de sistemas que permitan su uso para operar en todos los niveles de aplicación?</p> <p>¿Cómo implementar el sistema de control de calidad para una adecuada implementación de proyectos de ingeniería para el uso de pilotoje?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Analizar los factores que influyen en las operaciones de las edificaciones de alta y en relación con el uso de pilotoje.</p> <p>Desarrollar los diseños de sistemas para el uso de pilotoje en las operaciones de las edificaciones de alta y en relación con el uso de pilotoje.</p> <p>Validación de los datos de sistemas de control de calidad para una adecuada implementación de proyectos de ingeniería para el uso de pilotoje.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>El desarrollo de los sistemas de las edificaciones de alta y en relación con el uso de pilotoje, permite mejorar las operaciones de las edificaciones de alta y en relación con el uso de pilotoje.</p> <p>El desarrollo de una guía para el uso de pilotoje en las edificaciones de alta y en relación con el uso de pilotoje, permite mejorar las operaciones de las edificaciones de alta y en relación con el uso de pilotoje.</p> <p>Validación por medio de los datos de sistemas de control de calidad para una adecuada implementación de proyectos de ingeniería para el uso de pilotoje.</p>	<p><b>Variables Específicas</b></p> <p>Factores (topografía de suelo, tecnología)</p> <p>Estadísticas de procedimientos</p> <p>Datos en los procesos</p>	<p><b>Indicadores Específicos</b></p> <p>Cantidad de factores que definen aspectos positivos.</p> <p>Calidad de procedimientos para el diseño de pilotes</p> <p>Cantidad de datos en procesos con pilotoje y sus pilotes.</p>	<p><b>Diseño Específico</b></p> <p>Factores componentes del suelo de construcción.</p> <p>Utilización de los sistemas de control de calidad para una adecuada implementación de proyectos de ingeniería para el uso de pilotoje.</p> <p>Calidad del gesto vs. eficiencia del proceso.</p>	

## 2.1 VALIDACIÓN

En el desarrollo de una investigación es sumamente vital llevar un control riguroso sobre el levantamiento de los datos a utilizar, en este preciso caso, que los resultados hayan sido procesados siguiendo las normatividades específicas para cada caso; procedimientos que darán la seguridad tanto para la validez como para la confiabilidad.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se han tratado cimentaciones en diferentes estratos, con técnicas de implementación distintas; pero todas ellas con un mismo fin, llegar a niveles de estratos que permitan sustentar cargas de diseño que se aplicaran con la construcción de diferentes edificaciones de servicio. Siempre es preferible optar por un suelo con características suficientes capaz de dar sobradamente la carga admisible necesaria y si esto se obtiene en estratos superficiales, los costos económicos serán muchos menores que optar por estratos profundos; sin embargo, por razones de necesidad varios, es preciso utilizar áreas determinadas donde la capacidad admisible del suelo se obtiene con aplicar esta tecnología propuesta y desarrollada.

La preocupación del investigador es cuidar que el instrumento que elabore para la recolección de datos, posea las cualidades básicas y necesarias, como la validez y la confiabilidad, según Jay Cohen (citado por Sánchez, 2014).

En relación a la validez cuando un instrumento, se refiere al juicio del investigador de lo bien que mide de hecho el instrumento es decir de su juicio de lo que pretende medir, juicio basado en la evidencia sobre lo apropiado de las inferencias extraídas (deducción de un proceso de razonamiento), como también del error, del instrumento; según Jay Cohen (citado por Sánchez, 2014). La caracterización de la Validez de las pruebas del instrumento y de sus puntuaciones, son expresadas con frecuencia con términos “Aceptable” y “Débil”, lo que

refleja un juicio de lo adecuado que resulta estar midiendo la realidad según los atributos, para cuya medición se diseñó el instrumento, medido en un rango de 1 a 100.

La validación del instrumento, viene a ser entonces, el proceso de recopilación y valoración (resultados) de la evidencia de validez. Pero, no hay reglas para determinar el rango mínimo aceptable de un “coeficiente” de validez, según Cronbach y Gleser (1965), que afirmaron que dichos coeficientes de validez no necesitan ser tan elevados, y luego Lawshe (1975), propuso la formula simple para cuantificar el grado de consenso, solicitando a un Grupo de Expertos, que determinen la validez de contenido de un instrumento, según el siguiente cuadro:

NUMERO DE EXPERTOS	VALOR MÍNIMO (coeficiente)	INTERPRETACIÓN	SEMÁFOROS
40	0.29	<i>Baja Confiabilidad</i>	
20	0.42	Confiable	
15	0.49	Confiable	
10	0.62	Muy Confiable	
de 3 a menos de 10	de 0.84 a 0.90	Excelente Confiabilidad	

Valores mínimos de validez, según Grupo de Expertos

Fuente: La Cuarta Vía, Sánchez (2011), tomado de Lawshe (1975)

## 2.2 CONFIABILIDAD

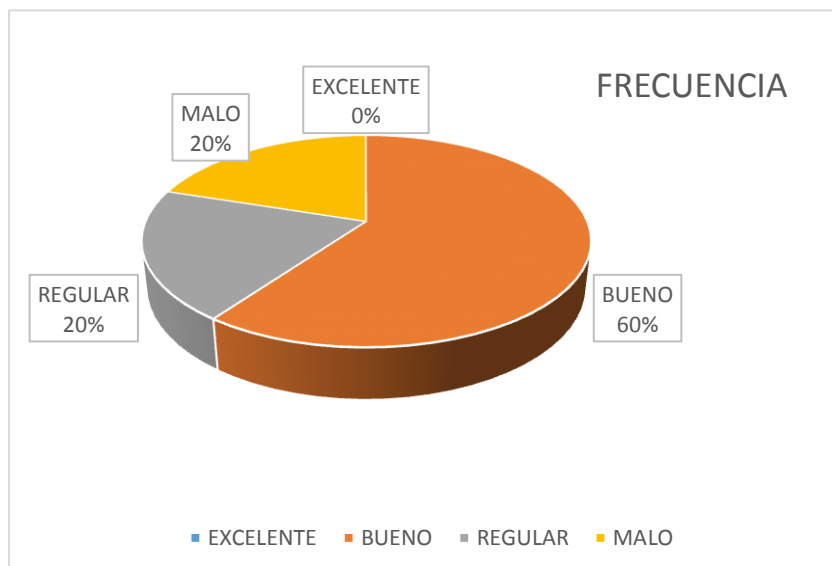
Confiabilidad es sinónimo de seguridad, fiable o consistencia. La confiabilidad de un instrumento establece la consistencia del instrumento que se ha elaborado mediante un puntaje, como resultado de la mediación exacta de la variable(s), pero que contiene el puntaje verdadero más el margen de error. La confiabilidad en este caso está basada de la obtención de la información directamente de los agentes encargados de los proyectos de cimentaciones que se ha desarrollado uno por uno, con sus cálculos numéricos. Según Sánchez (2011).

### ANEXO.3 ENCUESTAS A LOS CONSULTORES (JUICIO DE EXPERTOS)

#### 1.- ¿Cuál es su opinión en cuanto a los estudios sobre diseños de cimentaciones profundas en general?

El 60% de los encuestados respondieron que los estudios referentes a diseños de cimentaciones profundas en general, son muy importantes para tener conocimiento sobre el tema y además como un elemento a tomar en cuenta por las escasas empresas constructoras que ejecutan esta tecnología. En tanto que un 20% de los encuestados opinó que el estudio tiene carácter de regular o malo, ya que se requiere de casos prácticos que deben ser aplicados en nuestro país de manera general.

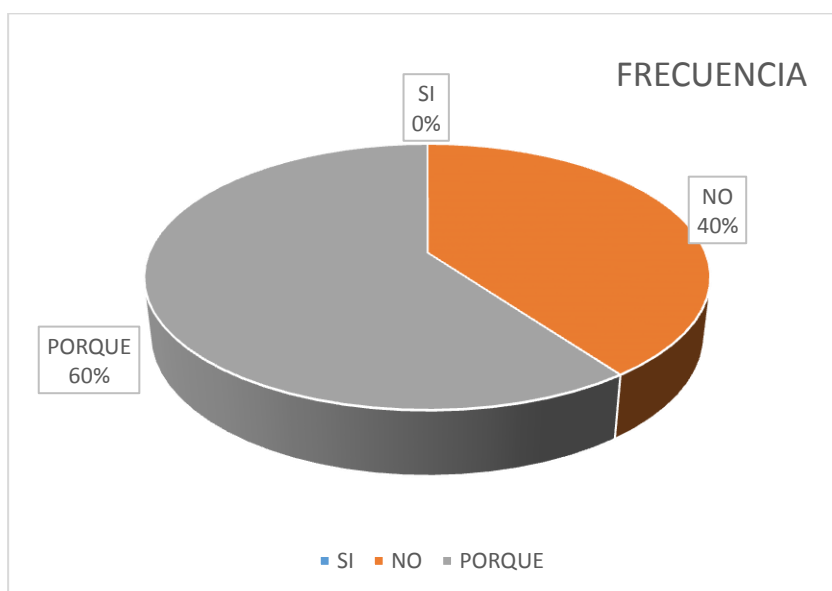
RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
EXCELENTE	0	0
BUENO	3	60.00
REGULAR	1	20.00
MALO	1	20.00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100.00</b>



2.- **¿Considera que existen estudios suficientes y efectivos sobre diseños de cimentaciones profundas?**

El 40% de los encuestados opinaron en la respuesta porque ya que afirman que aún no existen estudios suficientes al respecto, ya que su aplicación no se ha desarrollado en forma regular; recomendando que los centros especializados deberían incidir sobre este tipo de investigaciones que podría beneficiar a la sociedad. Un 60% manifestaron de manera efectiva que aún no se han desarrollado los estudios necesarios sobre el tema y que debería incidirse más sobre el tema.

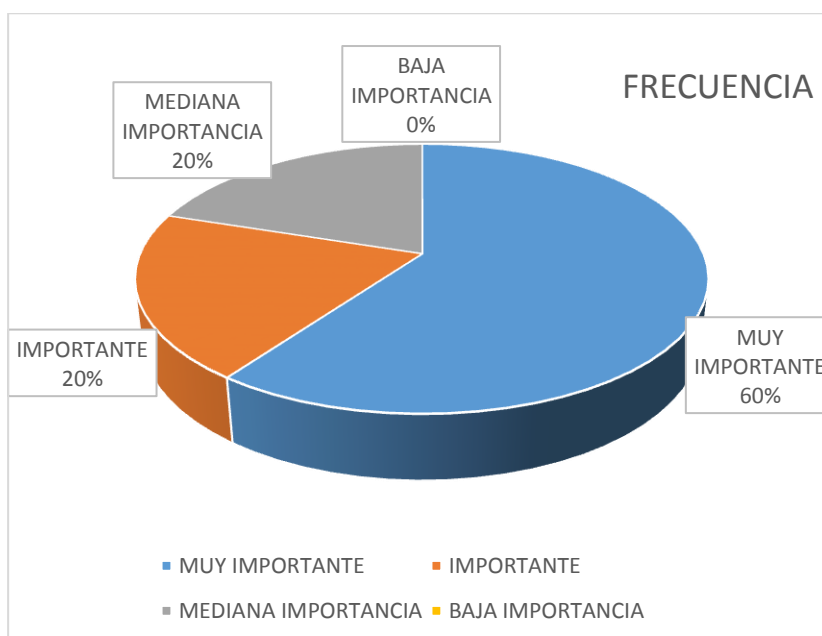
<b>RESPUESTA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
SI	0	0
NO	2	40.00
PORQUE	3	60.00
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100.00</b>



**3.- ¿Qué rango de importancia considera tienen los estudios sobre diseños de cimentaciones profundas en pilotaje como aporte de estabilidad de edificaciones?**

El 60% de los encuestados manifestaron que es muy importante el estudio sobre diseños de cimentaciones profundas en pilotaje como aporte de estabilidad de edificaciones; para lo cual, se hace necesario desarrollar curso de especialización para que profesionales afines al tema en cuestión, puedan aprovechar esta clase de estudios teórico - prácticos y puedan aplicarlo en soluciones reales. Un 20%, manifestó que es importante y medianamente importante; por lo que se afirma la necesaria difusión mediante estudios de especialización continua.

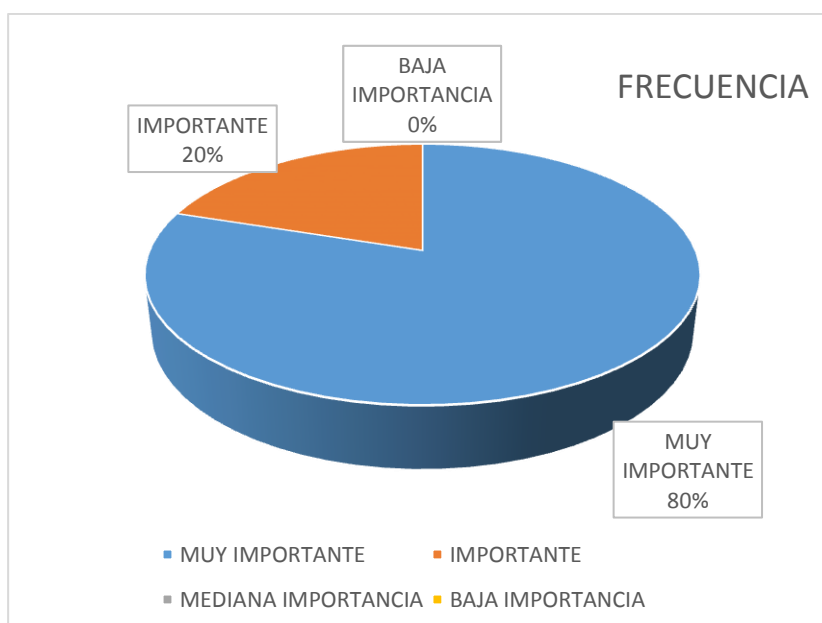
<b>RESPUESTA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>%</b>
MUY IMPORTANTE	3	60
IMPORTANTE	1	20
MEDIANA IMPORTANCIA	1	20
BAJA IMPORTANCIA	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100</b>



**4. ¿Cree que una técnica de mitigación de los desastres causados por fenómenos sísmicos, sería por la aplicación de cimentaciones profundas por pilotaje en edificaciones?**

El 80% de los encuestados contestó de manera rotunda que la mayor vulnerabilidad de las edificaciones se da por el comportamiento de los suelos ante las diversas ocurrencias sísmica, sin embargo, de la aplicación de esta tecnología propuesta a ser difundida, minimizaría el desastre o colapso de la infraestructura que se soporte sobre pilotes. Así mismo, un 20% manifestaron que no solo bastaría con la aplicación, sino que sería implementando además la suma de tecnología de disipadores sísmicos para edificaciones.

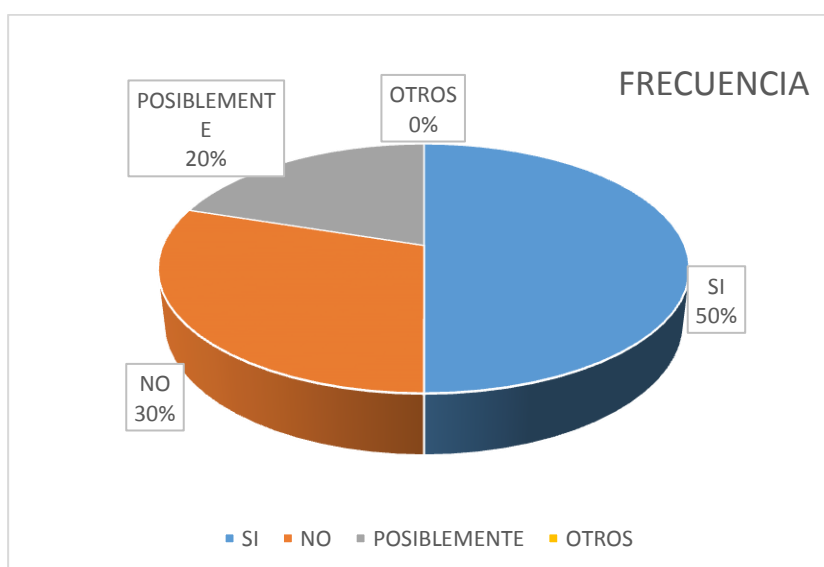
<b>RESPUESTA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>%</b>
MUY IMPORTANTE	4	80
IMPORTANTE	1	20
MEDIANA IMPORTANCIA	0	0
BAJA IMPORTANCIA	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100</b>



**5. ¿Cree que la infraestructura de nuestro país debido a su posición geográfica se encuentra amenazada permanentemente por movimientos telúricos?**

El 50% de los encuestados respondió que efectivamente de acuerdo a la ubicación de nuestro país, la infraestructura está expuesta permanente a esta clase de movimientos telúricos, siendo importante adoptar medidas para evitar contingencias que pudieran ocasionar hechos lamentables. Un 30% de los encuestados, contestó que no, ya que esto se debe a ciertos fenómenos naturales que atraviesan todos los países de la región y a situaciones exógenas del movimiento de la tierra.

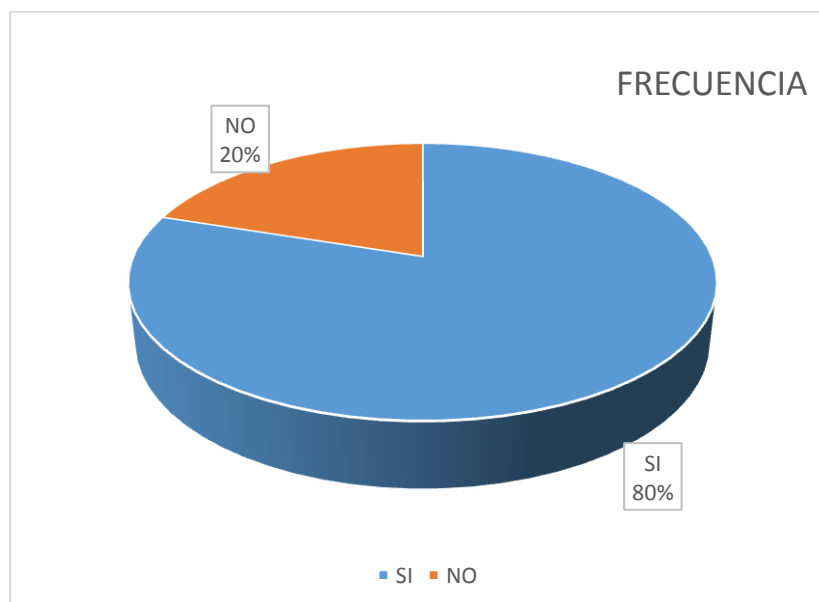
<b>RESPUESTA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>%</b>
SI	15	50
NO	9	30
POSIBLEMENTE	6	20
OTROS	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>100</b>



**6. ¿Cree que la ejecución de proyectos de gran envergadura que cada vez se hacen con mayor constancia en nuestro país, necesitaran plantas de formas de concreto como pilotes ya hechos y disponibles de inmediato?**

El 80% de los encuestados respondió que efectivamente de acuerdo a las inversiones constantes y sostenidas en el tiempo, el cambio de mentalidad habitacional, al aceptar el crecimiento horizontal por el vertical, esto es haciendo edificaciones de gran altura; nuestro país requerirá utilizar con mayor demanda pilotes prefabricados y esto representará la implementación de plantas de formas de concreto modernas y sostenibles con el medio ambiente. Solo el 20% de los encuestados, manifiesta que todavía no es necesario porque no existirá demanda mayor, en la década vigente.

<b>RESPUESTA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>%</b>
SI	4	80
NO	1	20
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100</b>



7. **¿Cree que la ejecución de proyectos de ingeniería utilizando cimentaciones profundas por pilotaje, necesitarán inversiones nuevas en maquinaria moderna o podrán seguir utilizando maquinaria antigua?**

El 60% de los encuestados respondió que efectivamente de acuerdo a las inversiones constantes y sostenidas en el tiempo, será necesario que las empresas dedicadas o por dedicarse a este rubro adquieran maquinaria moderna para rapidez y obtener mejores resultados al aplicar esta tecnología. El 20% de los encuestados opina que no es necesario mayor inversión, que con la maquinaria actual es suficiente para lo actualmente solicitado. El 20% de los encuestados le es indistinto uno u otro, no es de mayor relevancia.

<b>RESPUESTA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>%</b>
SI	3	60
NO	1	20
INDISTINTO	1	20
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>100</b>

