

42



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGON

CERTIFICACION ISO-9000 EN LA CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.

277373

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

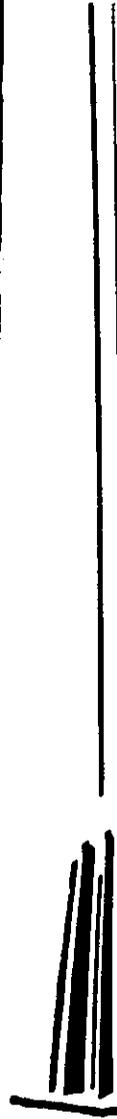
P R E S E N T A :

ALEJANDRO RUIZ RODRIGUEZ

ASESOR: ING. GABRIEL ALVAREZ BAUTISTA

ARAGON, ESTADO DE MEXICO

2001





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Esta tesis esta dedicada a mis padres:
Armando Ruiz y Juanita Rodríguez, a mis
hermanos: Alda, Cuquis, Armando, Mundo y
Daniel. Que sin su apoyo, paciencia y tolerancia
durante todos estos años no hubiese sido
posible cumplir con esta meta. Gracias.*

AGRADECIMIENTOS

A DELTA CIMENTACIONES, en especial al Ing. Francisco Mendieta por el apoyo brindado para la realización de esta tesis.

Al Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. (IMNC) y al Organismo Nacional de Normalización y Certificación en Construcción y Edificación (ONNCCE) por las facilidades otorgadas para la consulta de normas.

A la jefatura de carrera de Ingeniería Civil de la ENEP Aragón, por el apoyo y facilidades brindadas para la realización de tramites.

A mi asesor de tesis, Ing Gabriel Álvarez Bautista por su paciencia y apoyo durante la elaboración de la tesis.

CERTIFICACION ISO-9000 EN LA CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.

INDICE

	Pagina
I.- INTRODUCCION.	1
II.-CIMENTACIONES PROFUNDAS.	6
II.1 Clasificación y Características de las Cimentaciones Profundas.	6
II.2 Estudios Preliminares.	13
II.3 Diseño de Cimentaciones Profundas.	38
II.4 Construcción de Cimentaciones Profundas.	52
III.-CONTROL DE CALIDAD Y CERTIFICACIÓN EN ISO-9000 EN LA CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.	71
III.1 Control de Calidad de los Materiales.	71
III.2 Supervisión Durante la Construcción de pilas y pilotes.	91
III.3 Introducción al ISO 9000.	98
III.4 Implantación del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001.	106
IV.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.	113

I.-INTRODUCCION

El siguiente trabajo de tesis surge del interés propio de conocer mas acerca de la construcción de las cimentaciones profundas, en combinación con los sistemas de calidad que se han estado aplicado en las ultimas fechas en las diferentes ramas da al industria y los servicios. El propósito fundamental es mostrar los diferentes procesos en la construcción de cimentaciones profundas, abarcando desde los estudios preliminares hasta el establecimiento de sistemas de calidad que garanticen el cumplimiento de las especificaciones establecidas y por consecuencia la conformidad del cliente.

Este capitulo tiene como objetivo mencionar el contenido, tanto de la misma introducción como del total del trabajo, se mencionan los objetivos de una cimentación, la manera en que se clasifican y una breve historia del desarrollo de las cimentaciones profundas, también contiene una justificación del porque es necesario dentro de cualquier empresa contar con sistemas de calidad y en algunos casos la certificación de la misma. Y por ultimo el contenido del resto de los capítulos y sus respectivos temas.

El objetivo de una cimentación es el de proporcionar el medio para que las cargas de la estructura, concentrada en columnas o en muros, se transmitan al terreno produciendo en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos, o con asentamientos tolerables, ya sean estos uniformes o diferenciales. Toda estructura suele distinguirse en dos principales partes: la superestructura y la subestructura. En el caso de la primera, es aquella parte formada por losas, trabes, muros, columnas etc. Mientras que la segunda es la parte de la estructura que sirve para transmitir las cargas de esta al suelo.

Los factores que influyen en la selección adecuada del tipo de cimentación puede agruparse en tres clases principales: cargas, suelo y economía.

Es necesario conocer tipo de estructura, magnitud de las cargas y tipo de acciones a las que estará sometida toda estructura; como cargas vivas, cargas muertas y cargas accidentales (sismo y viento) con las cuales, se requiere conocer su distribución y así determinar los esfuerzos a que esta sometido el suelo.

Es indispensable un estudio detallado de mecánica de suelos, que permita conocer la configuración y composición de los diferentes estratos, sus propiedades índice, mecánicas e hidráulicas del suelo donde se cimentara la estructura, ya que, de acuerdo a sus características estratigráficas y físicas, su resistencia y comportamiento ante cargas externas determinara el tipo de cimentación adecuado.

Una vez establecido el tipo de cimentación de acuerdo a las cargas a que estará sometida la estructura y las características del suelo, se define el proceso constructivo que se aplicara dependiendo de los recursos con que se cuente, respetando especificaciones geotécnicas y estructurales, tomando en cuenta que el proceso sea económicamente aceptable, seguro, que cumpla con el tiempo de ejecución establecido y la calidad.

Las cimentaciones suelen clasificarse en: superficiales, compensadas y profundas.

Las primeras se caracterizan por desplantarse en el estrato resistente inmediato bajo la estructura, por lo general no deben encontrarse a una profundidad no mayor de dos veces el ancho del cimiento, además de no requerirse de maquinaria pesada, ni procedimientos especiales y su diseño no acepta esfuerzos de tensión, los más comunes de este tipo son las zapatas aisladas, las zapatas corridas y las losas de cimentación.

Por cimentaciones compensadas se entiende aquellas en las que se estudia la relación entre la excavación requerida para alojar un cajón de cimentación, que produzca un esfuerzo hacia arriba y el peso propio de la estructura de la estructura, incluyendo el peso de la cimentación, el estado de compensación se ve manifestado en la presión resultante, es decir la que realmente soporta el suelo en esas condiciones. De esta manera se puede clasificar este tipo de cimentación de la siguiente manera: parcialmente compensadas, totalmente compensadas y sobrecompensadas. Si el peso del material desalojado es menor que el peso de la estructura se trata de una cimentación parcialmente compensada, ahora bien, si el peso de material desalojado resulta igual al peso total de la estructura se trata de una cimentación totalmente compensada y en el último de los casos, cuando el peso del material excavado es mayor que el peso de la estructura se trata entonces de una cimentación sobrecompensada. Con el propósito de evitar que la estructura experimente asentamientos excesivos, es común que este tipo de cimentación se combine con pilotes de fricción, los cuales se describirán más adelante.

Cuando las condiciones del suelo superficial, no son las apropiadas para una cimentación poco profunda, es preciso buscar estratos de apoyo más resistente a mayores profundidades o utilizar como apoyo los suelos blandos y poco resistentes de que se dispone, contando con elementos que distribuyan la carga en un espesor de suelo, es necesario utilizar cimentaciones profundas que tengan la capacidad de soportar las cargas de gran magnitud que se aplican al subsuelo, utilizándose generalmente procedimientos constructivos y equipos especiales.

El uso de pilas y pilotes no es de uso reciente, este sistema de cimentación se ha utilizado desde tiempos antiguos, se dice que hace aproximadamente 1200 años los habitantes neolíticos de Suiza hincaron postes de madera en los fondos blandos de los lagos para construir sus casas sobre ellos, a una altura suficiente para protegerse de animales salvajes y de los pueblos vecinos. Estructuras similares se encuentran en las selvas de Sudamérica donde en las márgenes de los ríos, los nativos construyeron sus casas cimentándolas a base de pilotes de madera. La ciudad italiana de Venecia fue construida sobre pilotes de madera en suelos pantanosos a las márgenes de Río Po. Los colonizadores españoles llamaron a Venezuela con este nombre, que significa pequeña Venecia, porque los indios de la región habían construido sus chozas sobre las costas que rodean el lago Maracaibo, estas chozas estaban soportadas por pilotes de madera. La ciudad de México fue fundada en 1325. al establecerse los aztecas tuvieron que ganarle terreno al lago por medio de pilotes de huejote, árbol que aun subsiste en Xochimilco, para llenar los huecos entre estos se utilizó piedra volcánica y tezontle. Como estos se encuentran muchos otros ejemplos a través de la historia de la humanidad.

En México a principios de este siglo la mayoría de las edificaciones se habían construido sobre una cimentación basada en zapatas y en algunos casos losas de cimentación con una profundidad de desplante que variaba entre 0.6 y 1.5m, la mayoría de los edificios eran de forma regular, hasta cuatro niveles, a excepción de las demás construcciones el ángel de la independencia se tuvo que construir sobre pilotes de madera porque la losa de concreto armado que originalmente sería la cimentación, fallo cuando se construía el capitel de la columna. Importantes estructuras fueron cimentadas sobre pilotes de madera, podemos citar por ejemplo el edificio " LA Nacional". El hotel "Reforma" los pilotes utilizados fueron hincados hasta que ya no era posible su penetración, o sea que la técnica era muy simple y esta se transmitía prácticamente en forma verbal.

A principios de la década de los cuarenta se construyen edificios de hasta diez niveles, cuyas cimentaciones eran a base de pilotes de madera. Es en esta época cuando se incorpora la mecánica de suelos a la enseñanza de la ingeniería civil, empezándose a formular y utilizar métodos basados en la exploración y ensayos de laboratorio, así como la aplicación de las teorías sobre la capacidad de carga del suelo y el cálculo de asentamientos.

Por los años cincuenta, se introduce el uso de otros tipos de pilotes, que sustituirían el uso de pilotes de madera, estos tipos de pilotes eran de concreto y/o acero, la necesidad de construir estructuras cada vez más grandes y por consiguiente más pesadas produjo que el uso de cimentaciones profundas creciera a pasos agigantados, en esa época los trabajos estaban a cargo de empresas extranjeras donde los ingenieros mexicanos prestaban sus servicios como ejecutores, sin conocer las bases técnicas y el porque de los procedimientos. Las diferentes características y composición del subsuelo no solo del Valle de México sino de todo el país; genero la necesidad de adecuar las experiencias anteriores y desarrollar una tecnología específica para este medio, empleando para tal caso, nuevos procedimientos y utilizando equipos cada vez más sofisticados.

La utilización de numerosas técnicas, los avances en conocimientos de las características del suelo a través de la geotecnia y ramas a fin, la necesidad de garantizar el funcionamiento de las estructuras, fue suficiente para reglamentar el diseño y la construcción de cimentaciones profundas, la creación de manuales, y normas técnicas necesarias para la correcta construcción y mejoramiento de la calidad por parte de quienes se dedican a la construcción de cimentaciones profundas. Así se puede contar con el apoyo de instituciones mexicanas que publican y distribuyen información geotecnia, como la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (SMMS), el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI.) Instituto de Ingeniería de la UNAM, Instituto de geología de la UNAM, Instituto de Geografía de la UNAM, Cámara Nacional de la Industria de la Construcción (CNIC), PEMEX, CFE.

En los últimos años en el mundo se han visto numerosos cambios en diferentes aspectos económicos, políticos, tecnológicos, entre otros; actualmente se vive una época de globalización en el que se quiere formar un solo bloque económico, es decir pretende unificar la economía de todos los países. México no está al margen de esta globalización pues nuestro en los últimos años ha firmado varios convenios de libre comercio, como el TLC (tratado de Libre Comercio) firmado con Estados Unidos y Canadá. También se han firmado otros tratados con

países sudamericanos y se ha buscado establecer lazos comerciales con Asia y Europa.

El proceso de transformación que se vive hoy en México como resultado de la integración comercial, ha propiciado la necesidad de difundir y consolidar el uso de los sistemas de calidad en todos los campos de la actividad económica. Por estas causas las condiciones de competitividad mundial, han exigido niveles tecnológicos elevados. El esfuerzo de México por ser un país de competitividad internacional, obliga a analizar las reglas que ahora impone el acceso y la permanencia en la llamada arena de la competitividad mundial. En este sentido, la actividad de normalización ha constituido una valiosa herramienta para difundir y apoyar la implantación de sistemas de calidad que se basa en aspectos reconocidos internacionalmente. Una de las maneras más efectivas que las empresas han encontrado para permanecer en el mercado como líderes es la implantación de un sistema internacional de calidad.

La calidad destaca como un elemento para mantener la competitividad de las empresas, es por ello que cada vez más empresas exigen a sus proveedores una evidencia de que cuentan con un sistema de calidad bajo criterios internacionales aceptados. La certificación o registro de la empresa a cargo de terceros, es un mecanismo muy utilizado para que las empresas demuestren, antes de la firma de los contratos, que trabajan bajo un sistema de calidad documentado e implantado. En el ámbito nacional, se está generando una profunda transformación y modernización de los sectores productivos y comerciales, estableciendo acciones concretas que inducen a una vinculación con la economía y el comercio internacional, en la cual los temas de calidad y certificación constituyen la base de una sólida participación en los mercados globales y una estrategia para conservar los mercados nacionales ante la fuerte competencia extranjera.

La implantación de sistemas de calidad ha tenido un auge importante debido al reconocimiento en el ámbito internacional de las empresas que cuentan con dicho sistema de calidad, en México son cada vez más las empresas que buscan una certificación, en algunos casos por ser un requisito que deben de cumplir a solicitud de sus clientes y en muchos otros es una carta de recomendación para abrir nuevos mercados.

Siendo que un sistema de calidad puede ser implantado en cualquier tipo de empresa u organización, este trabajo intenta mostrar algunas de las bases para su implantación en una de las ramas de la construcción, como lo es la construcción de cimentaciones profundas (pilas y pilotes), así mismo el de contar con un documento para que las nuevas generaciones de ingenieros civiles y carreras a fin tengan una herramienta que sirva como introducción para la implantación de sistemas de calidad.

A continuación se muestra en síntesis los diferentes temas contenidos en el resto de los capítulos. El capítulo dos trata de manera general todo lo relacionado a las cimentaciones profundas, en un principio se presentan las diferentes formas en que se pueden clasificar las cimentaciones profundas, como son de acuerdo a los materiales con que están fabricados, procesos constructivos, forma de transmitir las cargas al subsuelo, las diferencias, ventajas y desventajas de los diferentes tipos de cimentación profunda.

En el tema relacionado a los estudios preliminares se presenta la importancia y objetivo de estos, las diferentes técnicas y equipo necesario para el muestreo y ensayos de laboratorio, para determinar las características físicas del suelo donde se pretende cimentar, determinar el tipo de cimentación y la técnica a utilizar.

El diseño de cimentaciones profundas esta basado en los resultados obtenidos en los estudios preliminares, se divide en dos partes: diseño geotécnico y diseño estructural. En el primero comprende las siguientes etapas: investigación geotécnica; que consiste en determinar mas a detalle la estratigrafía del sitio, la forma en que se distribuirán las cargas al subsuelo, según la capacidad de carga y tipos de suelo encontrados, la selección del elemento de cimentación, el equipo de construcción, además considera los requisitos y las especificaciones correspondientes para el diseño. Con respecto al diseño estructural, se puede decir que una vez realizado el diseño geotécnico, se procede a determinar el material con que estarán hechos los elementos de cimentación profunda, la capacidad de carga de estos, separación y el manejo. Se mencionan los requisitos que deben cumplir según el material con que serán fabricados, para resistir estructuralmente todas los esfuerzos a que estarán sometidos.

El ultimo tema del capítulo dos corresponde al de la construcción de cimentaciones profundas, se inicia dando una breve explicación del equipo comúnmente utilizado, para después presentar los procedimientos constructivos de pilas y pilotes de cimentación, mencionando y comparando algunas de las ventajas y desventajas entre los dos métodos.

El capítulo dos se divide en cuatro temas, todos ellos se refieren a la calidad, el primero de ellos describe las características de los materiales frecuentemente usados en la construcción de pilas y pilotes, así como los requisitos mínimos de calidad del material y del producto terminado, usando como referencias normas mexicanas.

El segundo tema de este capítulo "supervisión durante la construcción" trata como su nombre lo indica, lo relacionado a la supervisión de los procesos que se llevan a cabo durante la construcción de pilas y pilotes, de acuerdo al método seleccionado, verificando que se cumplan con las especificaciones establecidas en los contratos, planos y la normatividad correspondiente.

A partir del tercer tema se introduce lo que es el ISO 9000, sus antecedentes, constitución, la normatividad con que cuenta y sus equivalencias con normas mexicanas, describe en forma general el contenido de las normas utilizadas para implantar un sistema de control de calidad.

El ultimo tema de este capítulo, es una guía que tiene por objeto mostrar los requisitos necesarios para llevar a cabo la implantación de un sistema de gestión de la calidad, basado en la última edición de las normas de la familia ISO 9000, teniendo como referencia en particular la norma ISO 9001:2000 (NMN-CC-9001:2000. Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos) ejemplificándolo con la construcción de cimentaciones profundas.

El ultimo capítulo es utilizado para mencionar las conclusiones a que se llegaron con esta tesis y para escribir los diferentes comentarios con respecto a los diferentes temas, la información consultada, y dificultades durante la investigación.

CAPITULO II.-CIMENTACIONES PROFUNDAS.

II-1 CLASIFICACION Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS.

Las cimentaciones profundas son aquellas que como su nombre lo indica son elementos (pilas y pilotes) que se encargan de transmitir el peso de la estructura a estratos resistentes de suelo o roca que se encuentran a profundidades considerables en el subsuelo, ver figura 2.1.1, hay varias maneras de clasificar a este tipo de cimentaciones: de acuerdo al material del cual estan contruidos, según su proceso constructivo y por ultimo de la forma de transmisión de las cargas al subsuelo.

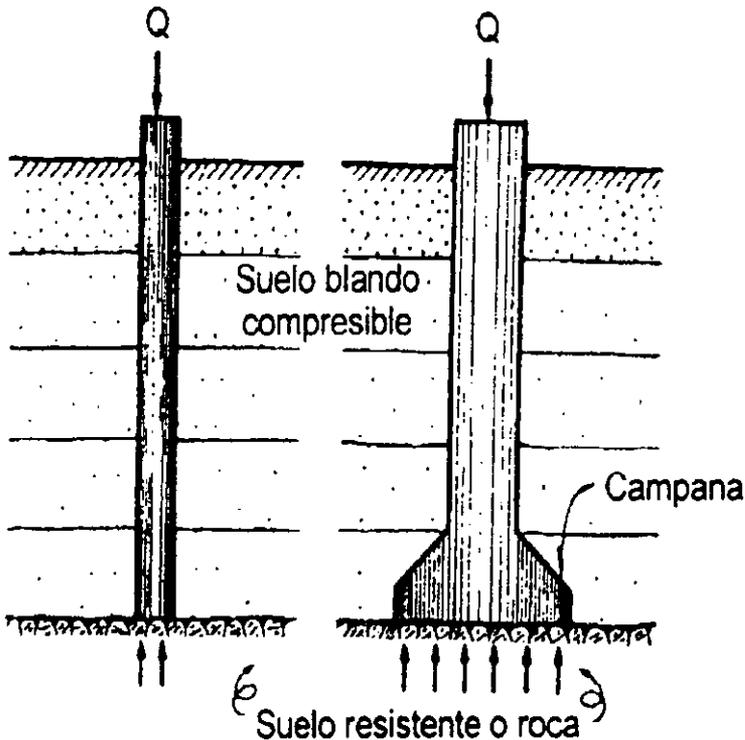


FIGURA 2.1.1

De acuerdo a los materiales de fabricación las cimentaciones suelen ser de concreto que a su vez se clasifican en elementos prefabricados y elementos colados en el lugar; los primeros se fabrican en moldes antes de ser instalados en el subsuelo, mientras que los segundos el concreto es colocado en el lugar donde quedara ubicado el elemento previa perforación. Elementos de acero, la sección mas utilizada de este material es la sección H y la tubería de acero. Con materiales mixtos que suelen ser una combinación de las mencionadas anteriormente es decir concreto reforzado con varillas de acero o bien con perfiles estructurales. Y por ultimo elementos de madera que es utilizado actualmente como cimentación provisional.

Según el procedimiento constructivo estos pueden ser con desplazamiento, con poco desplazamiento y sin desplazamiento. Dentro de los primeros se tiene a los elementos prefabricados o secciones estructurales de acero mencionados en el párrafo anterior, el procedimiento consiste en instalar los elementos sin hacer una perforación previa, mediante la aplicación de energía dinámica y presión cuando se trata de suelos blandos y vibración en suelos friccionantes. Con poco desplazamiento, que a su vez se divide en tres diferentes procedimientos; el primero, hincado en una perforación previa, se utiliza en el caso de que el subsuelo por su resistencia no permita la instalación de los elementos, por lo que requiere una excavación previa. Los segundos se conocen como hincados con chiflón, estos elementos que suelen ser prefabricados son hincados con un chiflón de agua que permite la extracción de cierta cantidad de suelo hacia el exterior. Por ultimo los conocidos de sección transversal pequeña como los tubos y los perfiles metálicos que por su reducida área en la sección transversal el suelo desalojado es imperceptible. Por ultimo sin desplazamiento que son todos los elementos colados en el lugar mediante una previa perforación, siempre y cuando el suelo lo permita al no presentar desplazamientos en las paredes de la perforación.

La ultima clasificación es de acuerdo a la forma de transmisión de carga al subsuelo. Los cuales se pueden clasificar a la vez como de carga vertical y carga vertical y horizontal. Elementos de carga vertical se conocen los pilotes de punta, figura 2.1.2, cuyo elemento transmite la carga vertical al estrato resistente mediante la punta.

De fricción, figura 2.1.3 que es cuando la transmisión de las cargas se desarrolla a través del contacto de los diferentes estrato con el fuste del elemento.

Los elementos que transmiten la carga al subsuelo de las dos maneras mencionadas anteriormente se conocen como mixtas, figura 2.1.4. Los elementos con carga vertical y horizontal son utilizados cuando la estructura genera cargas en ambos sentidos a la cimentación (cargas verticales y horizontales) por lo que se hace uso de pilotes inclinados, con el propósito de que la fuerza resultante sea transmitida adecuadamente al subsuelo.

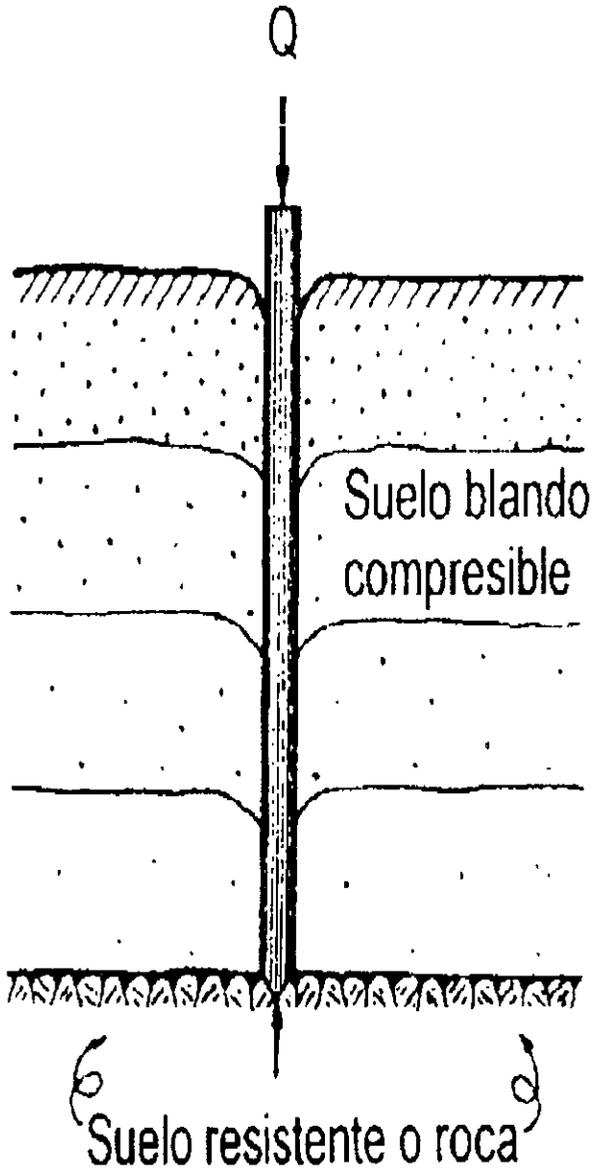


FIGURA 2.1. 2

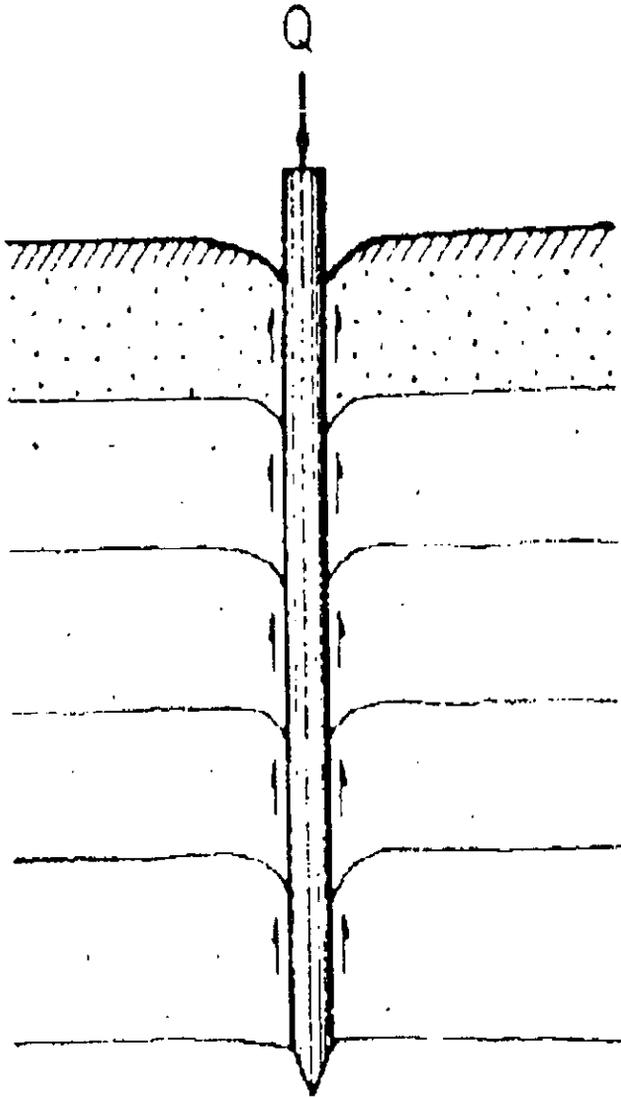


FIGURA 2.1. 3

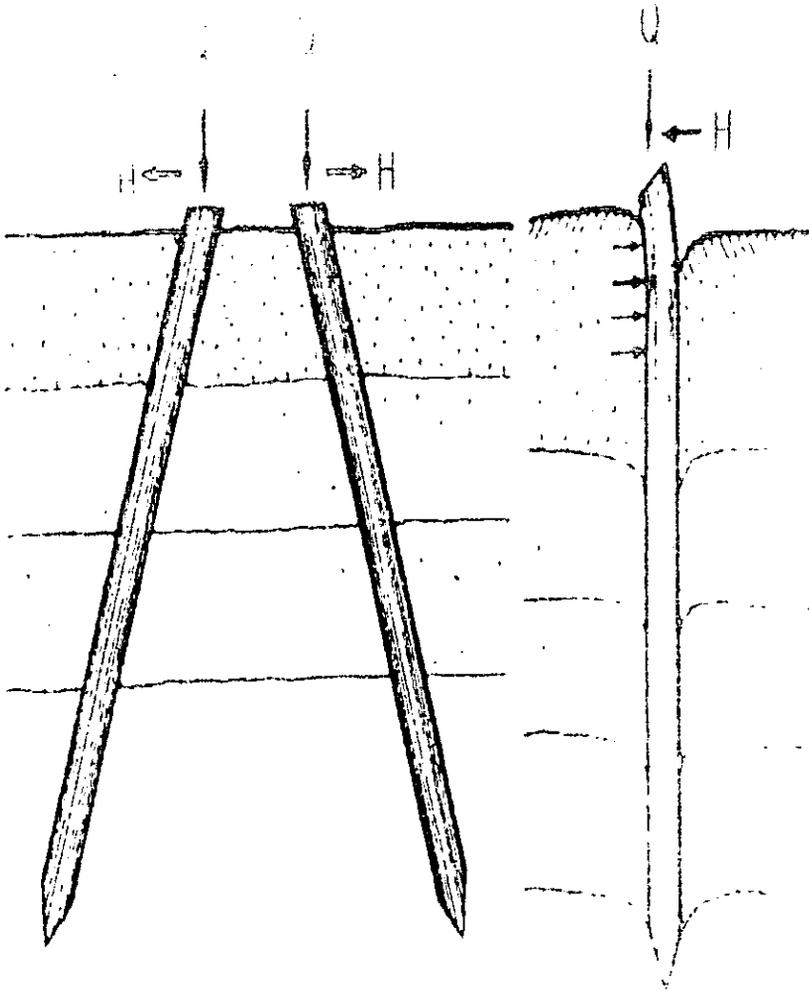


FIGURA 2.1. 4

Los elementos a los que se hace referencia en las cimentaciones profundas se conocen como pilas y pilotes, siendo la diferencia entre uno y otro el área de la sección transversal. Los pilotes son elementos esbeltos de cimentación profunda los cuales se encargan de transmitir las cargas de una estructura y al subsuelo. Los pilotes suelen ser de madera, de acero y/o concreto, en caso que se requiera transmitir la carga al subsuelo por fricción se eligen secciones menores, por consiguiente más ligeras, y con desarrollo de las caras del fuste de mayor área, siendo la sección H la más común. Las pilas son elementos de cimentación profunda con secciones mayores a las de los pilotes, las cuales también transmiten al subsuelo las cargas provenientes de una estructura y de la misma cimentación con el propósito de, lograr la estabilidad del conjunto. Las pilas se fabrican directamente en el subsuelo, por lo que se le conoce como elementos fabricados in situ. Cuando los esfuerzos que se transmitirán al subsuelo son exclusivamente de compresión, las pilas suelen fabricarse de cualquier material que tenga la resistencia requerida. Las características de los estratos del subsuelo, así como las condiciones del agua subterránea, definirán el material a emplearse en la fabricación de las pilas. Cuando los esfuerzos que se transmitirán al subsuelo son de compresión y de tensión, las pilas por lo general se fabrican utilizando concreto premezclado reforzado con varillas de acero corrugadas, tubo metálico o perfiles estructurales. La sección utilizada con mayor frecuencia es la circular, cuyo diámetro no debe ser menor a 60 cm llegando a construirse hasta 300 cm.

A continuación se mencionan algunas ventajas y desventajas en la utilización de pilas sobre la utilización de los pilotes:

Ventajas:

- Como las pilas se fabrican en el lugar, no se requiere de área adicional para una planta de fabricación y almacenamiento.
- Las pilas no están expuestas a sufrir daños estructurales ya que no se requiere ser maniobradas y golpeadas para su instalación como sucede con los pilotes.
- Los ruidos generados durante la instalación de una pila son muy inferiores, a los que se generan al instalar un pilote prefabricado.
- La longitud de las pilas puede ser variable dependiendo de la profundidad de los estratos resistentes, pudiendo hacerse los ajustes correspondientes prácticamente en forma inmediata, lo cual no es tan versátil en el caso de los pilotes ya que estos son prefabricados.
- La fabricación de las pilas es monolítica y no requiere juntas especiales, como sucede con los pilotes que son colocados en tramos.
- Las pilas pueden ser instaladas en subsuelos con presencia de gravas y boleas, aplicando el procedimiento adecuado que permita la estabilidad de la pared de las perforaciones, lo cual no es posible cuando se trata de una cimentación basada en pilotes, ya que el diámetro de las perforaciones es inferior a 1.20m, dimensión que permite la extracción de los obstáculos.
- La capacidad de carga de las pilas es mayor que la de los pilotes.

Desventajas:

- Las pilas requieren siempre de perforación previa, mientras que los pilotes en ocasiones pueden ser instalados desplazando el subsuelo.
- Cuando existen estratos de subsuelo sin consistencia, no es posible realizar la construcción de pilas con calidad, ya que su sección puede llegar a deformarse, lo cual no sucede con un elemento prefabricado.
- En la fabricación de pilas es necesario siempre garantizar que el desplante de las excavaciones no exista material suelto.
- Los cambios de presión del agua subterránea pueden cercenar el fuste de las pilas durante su fabricación, cuando se utilizan ademes metálicos recuperables y no son retirados adecuadamente.
- El procedimiento constructivo de pilas sobre agua se complica, al tener que evitar el vaivén de la plataforma flotante donde se apoya el equipo de construcción, así como tener que aislar el cuerpo de la pila en la zona donde no existe suelo que lo confine.
- El sistema de ademado de las perforaciones requiere mayor control que en el caso de los pilotes, ya que de este depende en forma importante la calidad de las pilas.

II-2 ESTUDIOS PRELIMINARES.

OBJETIVO.

Conocer las características del suelo donde se pretende construir una estructura es necesario y de gran importancia para la realización de un buen diseño geotécnico y estructural. El objetivo de los estudios geotécnicos es el de proporcionar la información suficiente sobre el terreno donde se pretende construir una estructura, como es el conocer la estratigrafía y las condiciones de presión del agua en el subsuelo, los hundimientos regionales y determinar las propiedades índice y mecánicas del suelo.

Se pueden considerar dos etapas de exploración geotécnica. Investigación preliminar e investigación de detalle. La primera consiste en recopilar toda información geotécnica documentada de la zona que se tenga disponible; Como fotografías aéreas, estudios geológicos y geotécnicos realizados anteriormente por alguna institución mexicana; un recorrido de campo cuyo principal objetivo será comprobar la interpretación fotogeológica, además de identificar y clasificar los suelos superficiales, visitar estructuras construidas en la zona e indagar sobre su comportamiento. La investigación de detalle incluye la realización de sondeos y pruebas de campo y laboratorio.

EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.

La necesidad de contar con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo con el que se está tratando, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra se desprende con un buen estudio de mecánica de suelos. El conjunto de estos datos sirve para que el proyectista adquiera una visión confiable de las condiciones y propiedades físicas del suelo que requieran ser consideradas en sus análisis. Es en el laboratorio de mecánica de suelos en donde el proyectista ha de obtener los datos definitivos para su trabajo; primero, al realizar las pruebas de clasificación ubicara en forma correcta la naturaleza del problema que se presenta y de esta ubicación podrá decidir, como segunda fase de un trabajo, las pruebas mas adecuadas que requiere su problema en particular, para definir las características de deformación y resistencia a los esfuerzos en el suelo con que se haya de laborar.

Para obtener en el laboratorio resultados confiables de criterio es preciso cubrir en forma adecuada una etapa previa e imprescindible: la obtención de las muestras de suelo apropiadas para la realización de las correspondientes pruebas.

Resultan estrechamente ligadas las dos importantes actividades, el muestreo de los suelos y la realización de las pruebas necesarias de laboratorio.

Muestreo.

El muestreo de suelos comprende dos tipos:

- a) Muestreo alterado. Consiste en la recuperación de muestras en las que el acomodo estructural de sus partículas se ha modificado en forma significativa debido al proceso de extracción. Estas muestras se utilizan en el laboratorio para identificar los suelos, determinar algunas propiedades índice y definir estratigrafía.
- b) Muestreo inalterado. Consiste en obtener especímenes de suelo que conservan el acomodo estructural de sus partículas sólidas; Sin embargo, es imposible evitar la relajación de esfuerzos y sus consecuencias en el comportamiento mecánico, que puedan ser ligeras o importantes dependiendo del cuidado y la técnica con que se obtengan. Las muestras inalteradas se obtienen mediante técnicas manuales ó con muestreadores adecuados según el tipo de suelo.

Exploración del suelo.

La finalidad de la exploración del subsuelo es la de obtener muestras ya sean estas alteradas o inalteradas para su estudio y determinación de sus propiedades físicas, una de las clasificaciones de los sondeos radica en el tipo de pruebas que se obtienen cuando en un sondeo las pruebas que se extraen son del tipo alterado el método de exploración suele conocerse como de carácter preliminar, mientras que cuando se obtienen muestras inalteradas se conoce como método de sondeo definitivo, pero no en todas las exploraciones geotécnicas es necesario la recopilación de muestras, existen métodos como los geofísicos desarrollados principalmente con el propósito de determinar las variaciones en las características físicas de los diferentes estratos del suelo o los contornos de roca basal que subyace a depósitos sedimentarios. Y los conocidos como pruebas in situ con las cuales se efectúan mediciones directas que permiten evaluar la presión neutral en el caso particular de que se trate.

PRUEBAS DE PENETRACIÓN.

Los penetrometros son conos o tubos de acero que se hincan a presión (estáticos) o con el impacto de una masa (dinámicos) y permiten definir indirectamente la estratigrafía del sitio y la variación de la compacidad relativa y la resistencia al corte (drenada) de las arenas con la profundidad, así como la resistencia al corte no drenada de las arcillas. Además de obtenerse muestras alteradas que permitirán definir confiablemente la estructura. En la exploración de un sitio, los penetrometros se emplean de acuerdo con tres criterios de aplicación:

1. Como instrumento de exploración, para definir la estratigrafía y facilitar con ello la selección de los muestreadores de suelo que deberán emplearse.
2. Para disminuir el costo de realización de sondeos complementarios para cubrir un área grande.

3. Como técnica única de exploración, en proyectos de bajo costo que no puedan justificar sondeos de muestreo.

A continuación se presenta una recopilación sobre los penetrometros de uso mas difundido.

Penetrometros Estaticos.

1. *Cono holandés mecánico* de 3.6cm de diámetro y 60° de ángulo de ataque(CPT) Recomendable en arena y limo, poco recomendable en arcilla e inaceptable en grava. Con este método se obtiene la resistencia de punta (q_c) y de fricción (f_s) que se generan durante el hincado de 20cm. Se hincan a presión con velocidad de 1.2m/min con la ayuda de un sistema de carga hidráulica. Es una prueba precisa pero debe correlacionarse con pruebas de laboratorio. En arcillas conviene correlacionarla con la prueba de veleta.
2. *Cono holandés eléctrico* de 3.6cm de diámetro y 60° de ángulo de ataque (CPT). Recomendable en arena y limo, aceptable en arcilla e inaceptable en grava. Se obtiene la variación continua de la resistencia de punta (q_c) y de fricción (f_s) con mayor precisión que el de cono mecánico. Su forma de operación es igual que el anterior, a diferencia que este es más eficiente. La figura 2.2.1 muestra un corte transversal del penetrometro electrico.

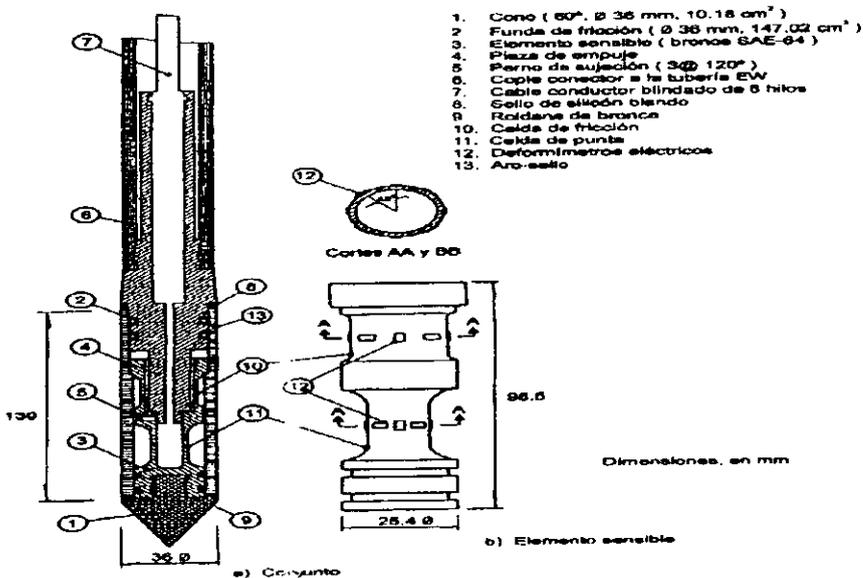


FIGURA 2.2. 1

Penetrometros Dinámicos.

Penetrometro estándar (figura 2.2.2) 5.1cm de diámetro exterior y 3.6cm de diámetro interior (SPT) su aplicación es recomendable en arena y arcilla dura, aunque también puede utilizarse en arcilla media, pero resulta inaceptable en arcilla blanda. Se obtiene muestras alteradas a cualquier profundidad y numero de golpes necesario para hincarlo. Su modo de operación es el siguiente: Se hinca a percusión con el impacto de una masa de 64 kg dejada caer de 75cm de altura. Se cuenta el numero de golpes para hincarlo 30 cm después de haber penetrado 15cm como se muestra en la figura 2.2.3 es una prueba de poca precisión pero probablemente la mas utilizada por que se tienen numerosas correlaciones con las propiedades y comportamiento de los suelos

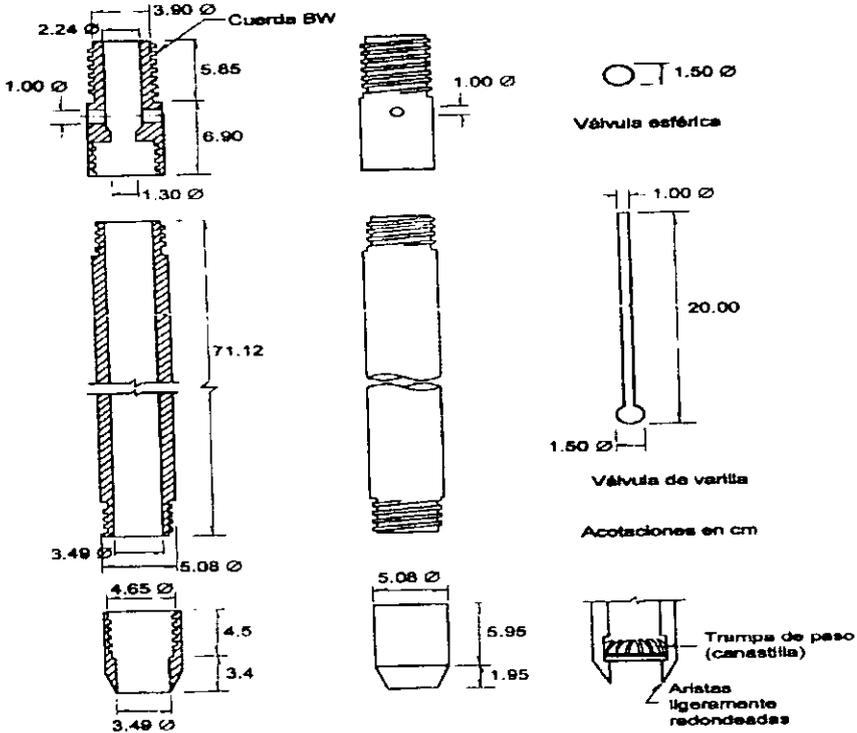


FIGURA 2.2. 2

1. *Cono simple hincado a percusión*, de 5.1cm de diámetro y 60° de ángulo de ataque. Se utiliza principalmente en suelos friccionantes (gravas y arenas) pero inaceptable en arcillas. Se obtiene la variación con la profundidad del número de golpes necesario para hincarlo. Su operación es semejante al penetrometro estándar, y en ocasiones se utilizan martillos de 128kg. Es una prueba burda, pero es la única que hasta ahora puede proporcionar en suelos con alto contenido de gravas.
2. *Penetrometro semes* de 7cm de diámetro y 90° de ángulo de ataque. Es recomendable en suelos formados de arena con poca grava, puede ser utilizado en arcillas duras pero inaceptable en arcillas blandas. Se obtiene el número de golpes necesario para hincarlo 10cm. Se hince a percusión con una masa de 30, 60 o 90kg que la levanta automáticamente un cilindro neumático y la deja caer 40cm de altura. Es un sistema muy eficiente pero de uso poco extendido y por ello no se ha acumulado experiencia en su empleo.

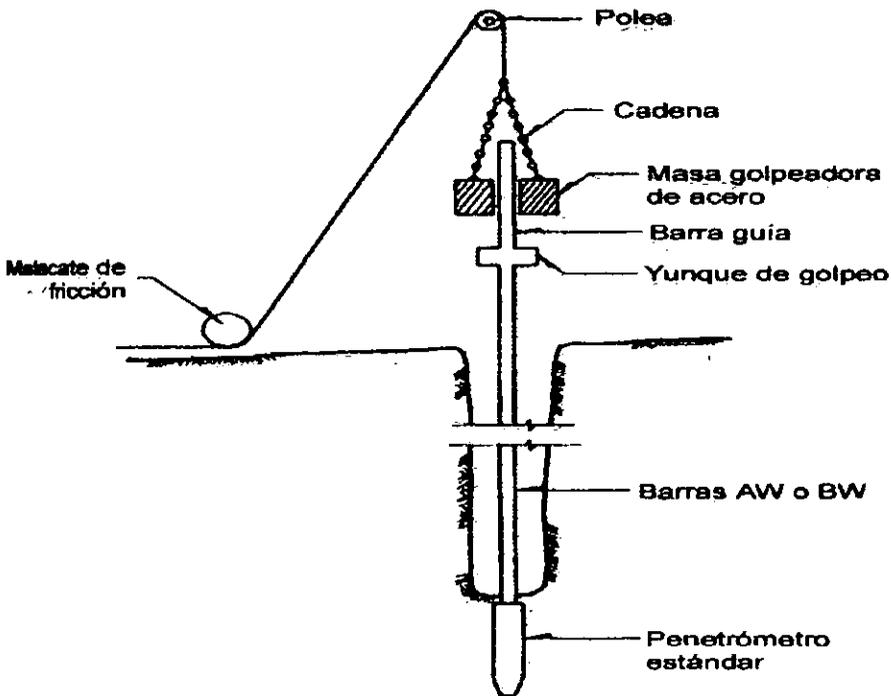


FIGURA 2.2.3

MÉTODOS DE SONDEO DEFINITIVOS.

Aquí se incluyen los métodos de muestreo que permitan la obtención de muestras inalteradas en suelos, apropiadas para pruebas de compresibilidad y resistencia y muestras de roca, que no pueden obtenerse de los métodos mencionados anteriormente.

Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado. Este método de exploración debe considerarse como el más satisfactorio para conocer las condiciones del subsuelo, ya que consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, así como darse cuenta de las condiciones precisas referentes al agua contenida en el suelo. Desgraciadamente este tipo de excavación no puede llevarse a grandes profundidades a causa, sobre todo, de la dificultad de controlar el flujo de agua bajo el nivel freático. La excavación se encarece mucho cuando sean necesarios ademes y haya excesivos traspaleos a causa de la profundidad. En estos pozos se pueden tomar muestras alteradas o inalteradas de los diferentes estratos que se hayan encontrado. Las muestras inalteradas deberán tomarse con precauciones, generalmente labrando la muestra en una oquedad que se practique al efecto en la pared del pozo. La muestra debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina. La figura 2.2.4 muestra el desarrollo del muestreo inalterado.

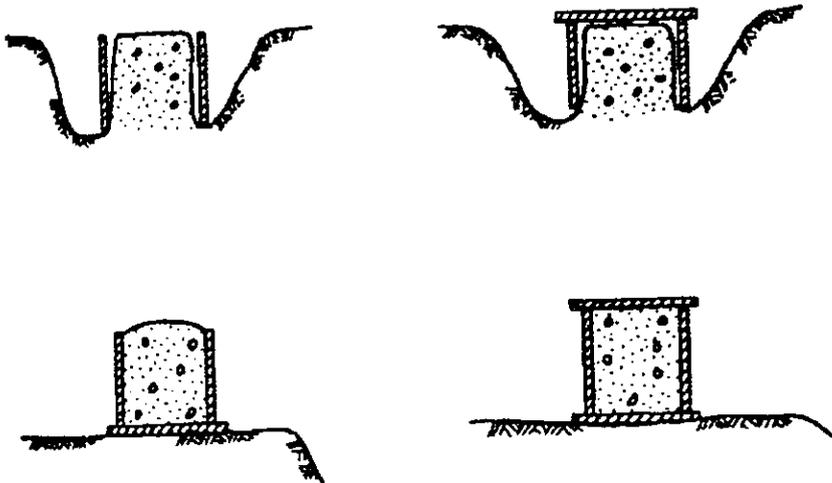


FIGURA 2.2. 4

Muestreo con tubos de pared delgada. Con este tipo de muestreo se obtienen muestras inalteradas de suelo, por lo menos en suelos cohesivos se usan actualmente en forma prácticamente única. A continuación se presentan algunos de estos muestreadores.

Muestreadores de pistón. Constan de un tubo de pared delgada que se hinca a presión en el suelo con una cabeza que tiene un mecanismo de pistón que puede ser fijo, retráctil o libre, existen diferentes modelos de mecanismos, entre ellos, el de pistón estacionario (figura 2.2.5) y el tipo Osterberg que posiblemente son los más utilizados. Estos muestreadores se han desarrollado para el muestreo de suelos cohesivos muy blandos, pero con el muestreador de pistón estacionario también se puede intentar el muestreo de arenas saturadas sueltas, consta de un tubo de pared delgada que se opera con dos tuberías concéntricas: La exterior que empuja el tubo muestreador y la interior que mantiene el pistón en una posición fija. El muestreador se lleva al fondo de la perforación con el pistón obturando la entrada del tubo, En el de pistón estacionario, se fija el tubo central a un apoyo inmóvil y se empuja el tubo exterior para hincar el muestreador, que después se saca cuidando que no ocurra movimiento relativo entre ambos tubos. Los muestreadores de pistón crean un vacío en la parte superior de la muestra que permite extraerla en suelos cohesivos formados principalmente de limos y arcillas muy blandas; se mide la longitud de muestra recuperada. Su operación es una maniobra delicada y lenta.

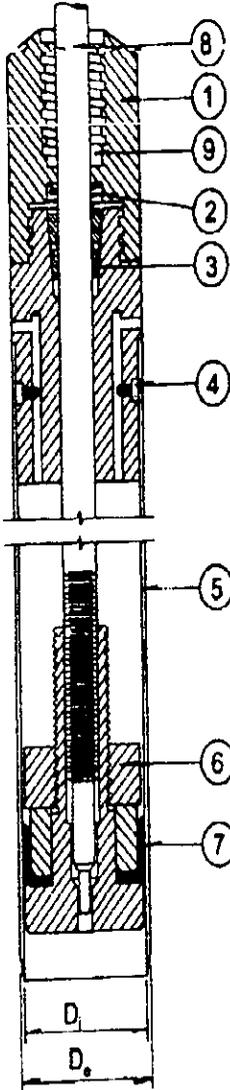
Tubo Shelby. Se utiliza para el muestreo inalterado de suelos blandos a semiduros localizados arriba y abajo del nivel freático, Tiene de 7.5 a 10cm de diámetro y se hinca a presión. Consiste en tubo de acero, con un extremo de ataque afilado. El tubo se une a la cabeza con tornillos Allen o mediante cuerda repujada. La cabeza tiene cuatro drenes laterales para las salidas del fluido de perforación y de los azolves durante el hincado. La válvula de la bola impide que la muestra se vea sujeta a presiones hidrodinámicas durante la extracción del muestreador. La cabeza muestreadora logra un sello más confiable que la de válvula esférica figura 2.2.6. El muestreador se hinca con un solo movimiento una longitud igual a la del tubo menos 15cm, para dejar espacio a los azolves, la velocidad de hincado debe ser entre 15 y 30cm/seg. Después se deja en reposo 0.5min, para permitir que la muestra se expanda y se adhiera al muestreador, a continuación se gira para cortar la base y posteriormente se extrae a la superficie y se mide la longitud de muestra recuperada.

Tubo dentado. Esta herramienta permite obtener muestras de arcillas duras limos compactos o cementados con un mínimo de alteración, en estos materiales presenta claras ventajas de operatividad y costo sobre muestreadores de barril doble. Lo constituye un tubo de acero, unido en su extremo superior con la cabeza muestreadora que, a su vez, va montada al final de la columna de barras de perforación con las que se hinca y se da rotación al muestreador desde la superficie; la parte inferior del tubo tiene ocho dientes de corte dispuestos simétricamente, que miden 0.8 a 1cm de altura y 3cm de base. Este muestreador se hinca operándolo a rotación con velocidades menores de 100rpm y presión vertical para que avance con velocidad constante de 1cm/seg, hasta penetrar

75cm; De esta manera queda sin muestra una longitud mínima de 15cm donde se alojan los azolves que pudieran haber quedado dentro del tubo. Después del hincado se deja el muestreador en reposo tres minutos a fin de que la muestra se expanda en su interior y aumente su adherencia contra las paredes del tubo; enseguida se corta la base del espécimen, girando dos vueltas el muestreador y se procede a extraerlo, una vez fuera se limpian sus extremos e identifica. Las muestras obtenidas con esta técnica presentan alteración en un anillo perimetral de 2 a 4mm de espesor.

Muestreadores Denison y pitcher. Estos también se conocen como barriles por que operan a rotación y presión; recuperan muestras que pueden ser inalteradas; las muestras se obtienen a presión y pueden ser de arcillas duras, limos cementados y limos cementados con pocas gravas localizados por debajo del nivel freático; operándolos arriba del nivel freático, el agua o lodo utilizado contamina las muestras. El muestreador pitcher es el adecuado cuando se presentan de manera intercalada estratos delgados de materiales blandos y duros. Estos muestreadores consisten esencialmente de dos tubos concéntricos unidos a la pieza denominada cabeza del muestreador; El tubo interior esta montado sobre valeros axiales y el exterior, que lleva en su extremo inferior la broca de corte, esta unido con rosca. Ambos muestreadores se operan de manera similar; el tubo interior se hinca a presión en el suelo, en tanto que el tubo exterior gira y la broca corta al suelo circundante. La velocidad de rotación del muestreador denison varia entre 50 y 200rpm, y el Pitcher debe ser de 100rpm como máximo. Estos muestreadores proporcionan muestras donde los otros procedimientos son ineficaces, además de ser los únicos que simultáneamente hacen un muestreo y perforan. Su operación es una maniobra delicada.

Tubo muestreador TGC. Este muestreador de pared delgada puede operarse con un pistón auxiliar; esta constituido por un tubo de acero que lleva en su interior otro de aluminio cortado en segmentos; la punta del muestreador es una filosa zapata de acero templado. Al hincarse el muestreador a presión, la muestra queda contenida en los tubos de aluminio anodizado, que reducen drásticamente los problemas de extracción de la muestra y sobre todo de la corrosión que sufren los tubos de acero que convencionalmente se emplean. La cabeza de este muestreador lleva una válvula muy ligera que facilita la salida del lodo de perforación, durante el hincado del muestreador y que posteriormente al hincado se cierra con ayuda de una varilla de acero de 1 a 2m de longitud que se introduce a través de la columna de barras de perforación. Este muestreador se puede utilizar de dos maneras distintas. Como un muestreador simple de pared delgada y como un muestreador de pistón automático, instalándole para ello un cilindro neumático, con el cual se puede hacer un cierto vacío en la cámara que queda por arriba de la muestra, con lo cual se asegura que las muestras de suelo muy blandos no se salgan del interior del tubo, sobre todo durante la maniobra de extracción de la perforación.

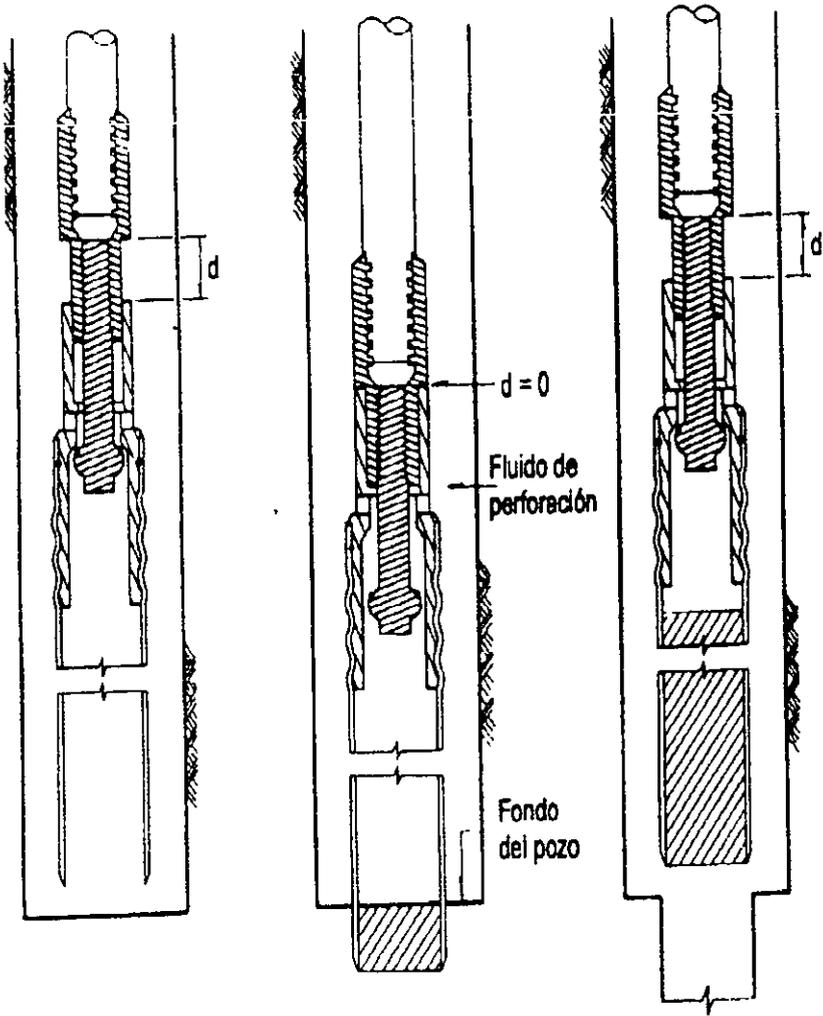


- 1 cabeza
- 2 resorte
- 3 seguro
- 4 perno fijador
- 5 tubo de acero (pared delgada)
- 6 y 7 pistón
- 8 tubo interior
- 9 cuerda del tubo exterior

Dimensiones usuales, en mm

Diámetro exterior	D_e	76.2	127.0
Diámetro interior	D_i	73.0	123.8

FIGURA 2.2. 5



A) Descenso, válvula cerrada

B) Muestreo, válvula abierta

C) Extracción, válvula cerrada

FIGURA 2.2. 6

Métodos rotatorios para rocas. Cuando un sondeo alcanza una capa de rocas más o menos firme o cuando en el curso de la perforación las herramientas hasta aquí descritas tropiezan con un bloque grande de naturaleza rocosa, no es posible lograr penetración con los métodos estudiados y ha de recurrirse a un procedimiento diferente. Por lo que se hace indispensable al empleo de máquinas perforadoras a rotación, con broca de diamantes o del tipo cáliz. En las primeras el extremo de la tubería de perforación va colocado un muestreador especial, llamado de corazón, en cuyo extremo inferior se acopla una broca de acero con incrustaciones de diamante industrial, que facilitan la perforación. En las segundas, los muestreadores son de acero duro y la penetración se facilita por medio de municiones que se echan a través de la tubería hueca hasta la perforación y que actúan como abrasivo. En roca muy fracturada puede existir el peligro de que las municiones se pierdan. Las perforadoras tipo cáliz se han construido con diamantes muy grandes, hasta para hacer perforaciones de tres metros, en estos casos la maquinaria penetra en el suelo con la misma broca. La colocación de los diamantes en las brocas depende del tipo de roca. En rocas duras es recomendable usar brocas con diamantes tanto en la corona como el interior para reducir el diámetro de la muestra, y en el exterior para agrandar la perforación y permitir el paso del muestreador con facilidad. En rocas medianamente duras suele resultar suficiente emplear brocas con inserciones de carburo de tungsteno en la corona. En rocas suaves, del tipo de lutitas, pizarras, etc. Basta usar broca de acero duro en diente de sierra.

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA IN SITU.

La determinación en el lugar de las presiones neutrales es un problema de gran trascendencia en los aspectos prácticos de la mecánica de suelos, pues, ese concepto juega un papel fundamental en las actuales teorías, sobre todo en consolidación y en resistencia al esfuerzo cortante de los suelos; La aplicación de tales teorías a los problemas prácticos exige entonces el efectuar mediciones directas que permiten evaluar la presión neutral en el caso particular que se trate.

Piezometría.

Los piezómetros son aparatos cuya función es medir la presión neutral en el suelo en un punto determinado, a una cierta profundidad. El principio con el que trabaja es simplemente, el hecho conocido según el cual la presión que pueda existir en el agua en el extremo inferior de un tubo puede equilibrarse con una cierta columna de agua actuante en dicho tubo. A continuación se presentan algunos tipos de piezómetros.

Piezocono. Dispositivo mediante el cual se puede medir la presión de poro del agua intersticial del suelo a diferentes profundidades en un sitio determinado. Esta compuesto por un transductor electrónico calibrado, colocado en el interior de una camisa metálica de 5cm con punta cónica, figura 2.2.7. El contacto de la fase líquida del suelo con el transductor ocurre arriba de la punta cónica, donde se encuentran dos piedras porosas diametralmente opuestas. Entre estas y el transductor existe una cámara que se satura de un líquido (generalmente glicerina desaireada). De esta forma se asegura que la presión ejercida por el agua que

rodea al piezocono se transmita íntegra a una membrana que forma parte del transductor. Para obtener buenos resultados es necesario garantizar una buena saturación de la cámara para evitar la formación de burbujas de aire en su interior. El piezocono se hinca de una manera similar al de la prueba de cono eléctrico. Para evitar una sobrepresión la velocidad de hincado no será mayor de 2cm/s.

El procedimiento de ejecución consiste en hincarlo a cierta profundidad para después suspenderlo, se toman lecturas de presión de poro hasta alcanzar la presión de equilibrio del suelo. El tiempo necesario de respuesta depende del tiempo de respuesta de transductor y de la permeabilidad del suelo en cuestión. Las mediciones generalmente se realizan en estratos permeables cuya profundidad puede definirse indirectamente con los resultados de un sondeo de cono eléctrico complementado con un sondeo de muestreo previo. En cada medición se grafica una curva de disipación de la presión de poro contra el tiempo transcurrido después de suspenderse el hincado; Cuando las lecturas tienden a ser constantes se dice que se ha alcanzado la presión de estabilización cuyo valor es la presión de poro existente en el suelo antes del hincado. Se ha observado que la estabilización de las lecturas comienza a partir de los 15min para suelos limo-arenosos, con tiempos máximos del orden de 45min para suelos de menor permeabilidad. Finalmente se dibujan los resultados de todo el sondeo en una grafica que relaciona la presión de poro.

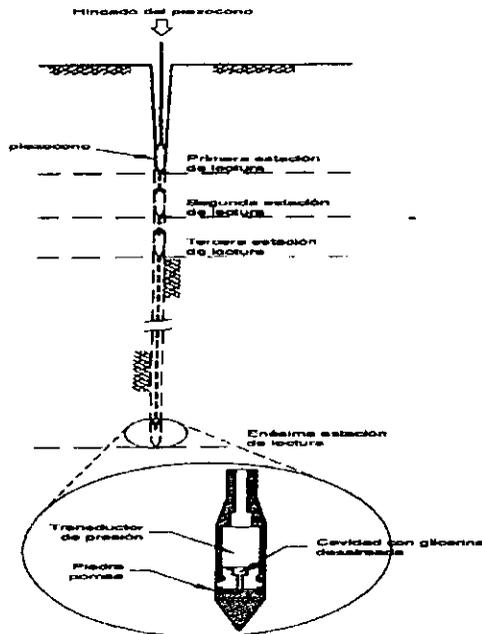


FIGURA 2.2. 7

Piezómetro abierto. Este dispositivo permite determinar la presión de poro de un lugar a cierta profundidad, la variación de la presión con el tiempo, la influencia del proceso constructivo en la presión del poro; esto es posible midiendo el nivel del agua que se establece en un tubo vertical provisto de una celda permeable en su extremo inferior. El piezómetro abierto consta de un tubo vertical, de PVC o metálico de 1.25cm de diámetro, con coples cementados, y una celda permeable en su parte inferior, figura 2.2.8.

La más usual es la celda de PVC de 3.81cm de diámetro y 30cm de altura, con ranuras horizontales de 1mm que permiten el paso del agua; Se acostumbra llenar la celda permeable con arena de partículas mayores de 2mm; usualmente se coloca un fieltro o una malla muy fina para confinar la arena dentro de la celda. La secuencia de instalación es la siguiente. Se hace una perforación con un diámetro de 7.5cm hasta 60cm por debajo de la profundidad de instalación, Se instala ademe metálico de diámetro N y se hace circular agua limpia hasta que retorne con un mínimo de material en suspensión, Simultáneamente a lo anterior se ensambla el piezómetro con la longitud total del tubo vertical para permitir que el cemento de los coples tenga tiempo suficiente para endurecer; Si se emplea tubería metálica en las cuerdas se debe colocar cinta teflón. Se extrae el ademe 30cm y se vacía arena bien graduada en el pozo, controlando su volumen.

Se coloca el piezómetro dentro del pozo, comprobando que quede bien asentado en la arena. Esta maniobra se hace aprovechando la flexibilidad de la tubería de PVC de 1.25 o 2.54cm de diámetro, que fácilmente admite radios de curvatura de 3m, aproximadamente; Cuando se utiliza la tubería metálica se enrosca a medida que se introduce en el pozo. En cualquier caso se coloca un tapón superior roscado o débilmente cementado, con una pequeña perforación para que el aire atrapado tenga una salida, se extrae el ademe en tramos de 10cm, vaciando gradualmente la arena dentro del pozo hasta 30cm por arriba del bulbo, se agrega bentonita en bolas para sellar un tramo de un metro del pozo, controlando su volumen, se extrae el ademe y se rellena el pozo con lodo arcilloso.

La profundidad de instalación de las celdas. Deben colocarse coincidiendo con los estratos permeables que aseguran un buen funcionamiento, aprovechando un perfil estratigráfico obtenido con el cono eléctrico, por lo tanto, una estación piezométrica siempre esta constituida por varias celdas de medición, usualmente dos o cuatro, en igual numero de perforaciones, debiéndose construir los registros de protección, donde se indicara la información que identifique la profundidad de cada celda, así como un nivel de referencia de las elevaciones.

La celda permeable permite determinar la altura piezométrica del agua del estrato en que fue instalado; Siempre que el sello impida la intercomunicación con los otros lentes que queden por arriba. El tiempo de respuesta de este piezómetro es lento, probablemente de varios días, porque tiene que acumularse el agua dentro del tubo vertical, hasta alcanzar la altura de equilibrio. El nivel del agua se determina con una sonda eléctrica integrada por un cable eléctrico duplex flexible y un medidor de resistencia (óhmetro); La punta del cable lleva una boquilla de plástico que impide que los dos alambres conductores puedan hacer contacto con la pared interior del tubo; tiene también un lastre metálico para tensar el cable y asegurar la precisión de la medición.

Una vez que los conductores tocan la superficie del agua cierran el circuito, y el óhmetro lo registra; La precisión de la medición es de mas o menos 1.0cm de columna de agua. La medición de la altura piezométrica debe estar relacionada con un nivel de referencia instalado junto al piezómetro. Una vez estabilizados los niveles del agua en el interior de los tubos que componen la estación piezométrica, y conociendo el valor de los esfuerzos totales, se puede determinar la variación de los esfuerzos efectivos.

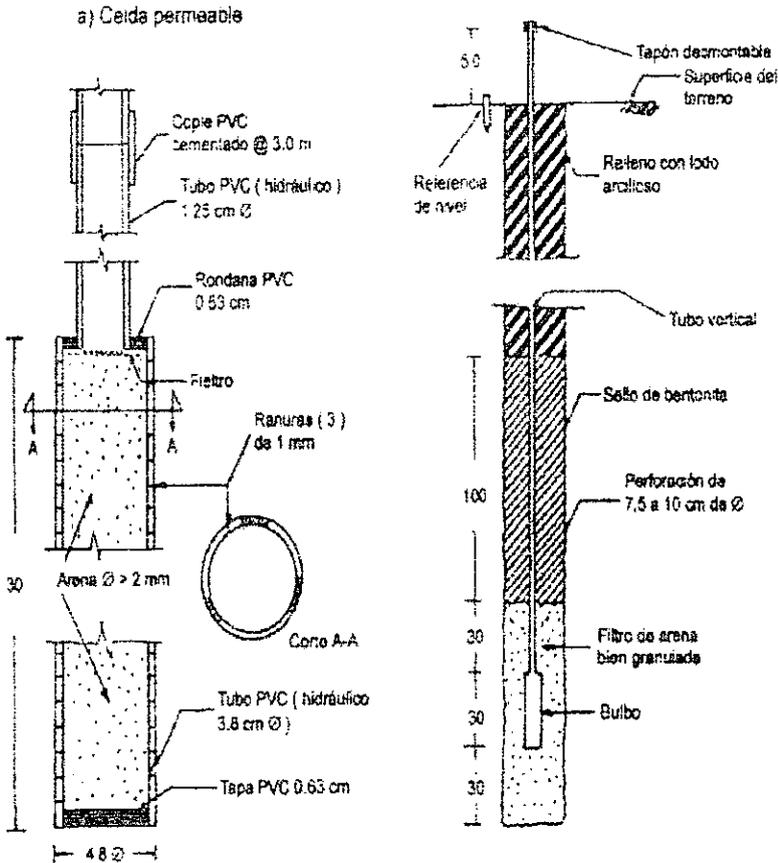


Figura sin escala
Anotaciones en cm

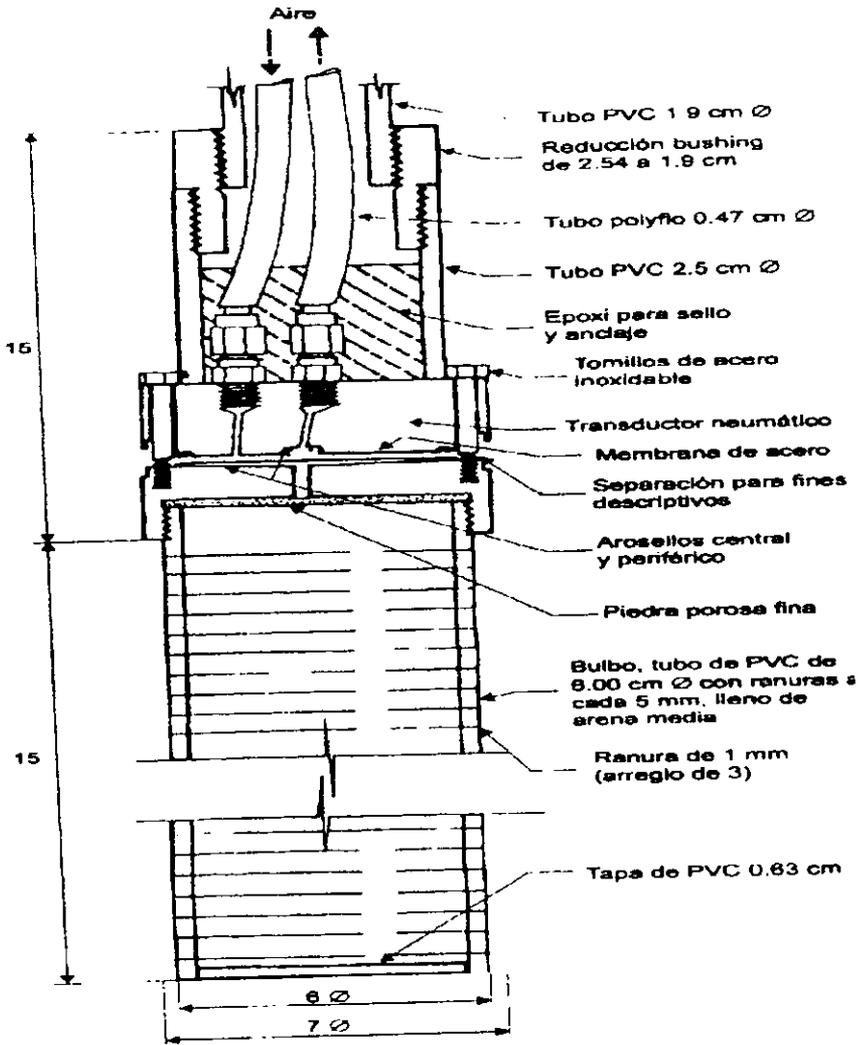
FIGURA 2.2. 8

Piezométrico neumático. Este dispositivo al igual que los anteriores, permiten determinar la presión de poro de un lugar, a una cierta profundidad, midiendo directamente la presión que ejerce el agua sobre una membrana o diafragma; como el volumen de agua que se requiere para activar la membrana es muy reducido, su tiempo de respuesta es muy corto. Lo anterior hace que estos piezómetros sean particularmente adecuados para detectar los cambios de presión de poro provocados a consecuencia de un proceso constructivo. Un piezómetro neumático consta de un sensor el cual esta formado de dos piezas cilíndricas de acero inoxidable, unidas con seis tornillos de 6mm de diámetro; ambas piezas aprisionan perimetralmente la membrana flexible de acero inoxidable de .05mm de espesor, figura 2.2.9.

Por debajo de la membrana se encuentra el bulbo perimetral de PVC y la piedra porosa fina; por arriba estan los dos arosellos, el exterior se sella herméticamente a la membrana y el interior más pequeño sirve para controlar la operación del aire a presión. Este aparato es complementado por dos tubos de línea flexible "polyflo", una para introducir el aire a presión y la otra de salida; Finalmente, un tramo de tubería de PVC de 1.9cm de diámetro, en cuyo extremo inferior queda fijo el piezómetro neumático. Estos piezómetros o celdas se instalan en perforaciones verticales, cuidando que el bulbo permeable se mantenga libre de lodo, y que quede confinado en un filtro de arena limpia; las etapas del procedimiento de instalación son similares a las descritas para los piezómetros abiertos con el cuidado adicional de proteger con tapones los tubos de polyflo, de entrada y salida del aire, debe también identificarse el extremo superior de cada línea.

Es necesario tener en cuenta que un sólo grano de arena que penetre en los tubos de aire obstruirá el funcionamiento del piezómetro. Las celdas deben colocarse coincidiendo preferentemente con los estratos permeables para asegurarse de su mejor funcionamiento; si es necesario, estos piezómetros pueden colocarse en un estrato arcilloso, aun cuando hace mucho mas lento su tiempo de respuesta. Otro criterio de instalación para este tipo de piezómetros es colocarlos únicamente en el estrato permeable, cuya condición de supresión pudiera poner en peligro la estabilidad de una excavación, ya que permitirían detectar cambios de presión en corto tiempo. Estos piezómetros deben calibrarse antes de ser instalados a una presión del doble de la operación, para lo cual se introducen en una cámara hermética llena de agua a presión; dicha cámara tiene dos orificios para el paso de los tubos polyflo que conducen el aire. La calibración consiste en aplicar una presión conocida al agua y medir la correspondiente en el piezómetro, la precisión de la calibración esta condicionada a las sensibilidades de la membrana y del sistema de medición.

La presión que ejerce el agua en la membrana se determina equilibrándola con aire, valiéndose de un sistema de aire a presión controlada, identificado usualmente como consola de medición. Los piezómetros neumáticos son instrumentos delicados cuya instalación y operación debe encomendarse a personal debidamente entrenado. Este tipo de piezómetros pueden instalarse en estratos de arcilla, a condición de que en la interpretación de las mediciones se tome en cuenta la demora en su tiempo de respuesta.



Dibujo sin escala
Acotaciones en centímetros

FIGURA 2.2. 9

Piezómetro abierto hincado. Es un piezómetro tipo casagrande, pero de instalación más simple y por eso resulta más confiable. Permite determinar la presión en el poro de un lugar a cierta profundidad, midiendo el nivel de agua que se establece en la punta permeable de un tubo vertical hincado a presión. El piezómetro se muestra en la figura 2.2.10 y consta de un tubo de cobre de 1.58cm de diámetro por 30cm de longitud, con perforaciones de 5mm forrado con fieltro permeable, en su parte superior se une a un tubo de fierro galvanizado de 1.90cm de diámetro en tramos de 1.0m unidos por medio de coples. En el extremo inferior se une una punta cónica de acero de 2.7cm de diámetro, con sello temporal de silicón al tubo galvanizado. Se hincan en el suelo con la ayuda de gatos hidráulicos de una perforadora, si el suelo es muy blando puede hincarse manualmente a presión o con barrena helicoidal.

El procedimiento es el siguiente. Se perfora manualmente con una barrena helicoidal o con una perforadora mecánica, hasta 1.0m por arriba de la profundidad de instalación, se hincan el piezómetro en el suelo en posición cerrada, hasta la profundidad de proyecto, en estas condiciones el sello de silicón evita que penetre el agua y lodo al interior del tubo. Cuando el hincado se hace a percusión, se coloca una cabeza protectora cubriendo la cuerda de los tubos. Se introduce en el piezómetro una barra auxiliar de acero de 0.95cm de diámetro, en tramos de 1.5m con cuerda, para formar una columna continua; a continuación se introduce agua hasta igualar el nivel en el interior del tubo con el nivel freático. Posteriormente, con la barra auxiliar se empuja a presión la punta de la celda permeable, o bien con los impactos de un martillo hasta abrir el piezómetro 20cm. Al extraer la barra de acero deberá agregarse agua de manera que el nivel de agua no cambie bruscamente, sino que se mantenga cerca o por arriba del nivel freático, a continuación, este nivel tenderá a encontrar su posición de equilibrio. El nivel del agua dentro del tubo se determina con la ayuda de una sonda eléctrica integrada por un cable duplex flexible y un medidor de resistencia, ver figura 2.2.11.

El tiempo de respuesta es lento, probablemente de varios días, porque debe acumularse agua dentro del tubo vertical, hasta alcanzar la altura de equilibrio. Una vez estabilizados los niveles del agua en el interior de los tubos que componen una estación piezométrica, y conociendo la variación de los esfuerzos totales, se puede determinar la variación de los esfuerzos efectivos.

Exploración geofísica.

Estos métodos de exploración son utilizados para obtener información preliminar del subsuelo, para complementar la información geológica y reducir el número de sondeos. Mediante su interpretación y correlaciones se deducen las características estratigráficas, posición del nivel freático, posibles tipos y propiedades de suelos y rocas. Los métodos de exploración geofísica aplicables en geotecnia se basan en la medición de la variación de la velocidad de propagación de ondas sísmicas o de resistividad eléctrica de los suelos.

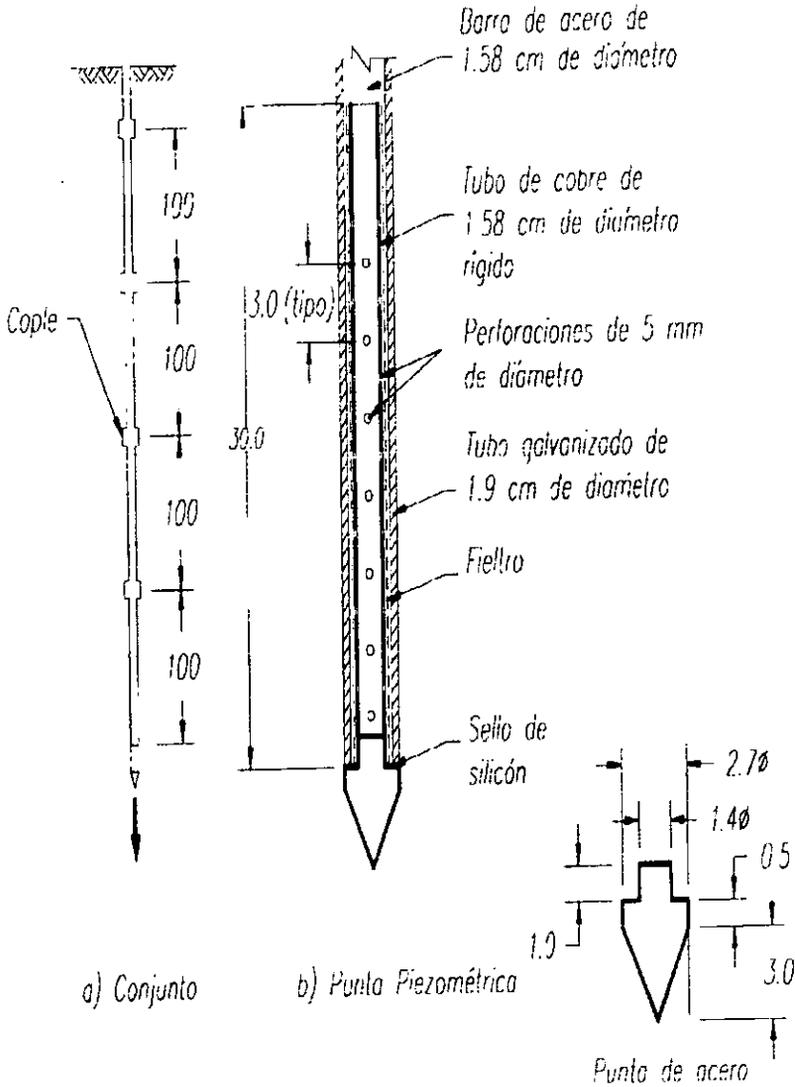
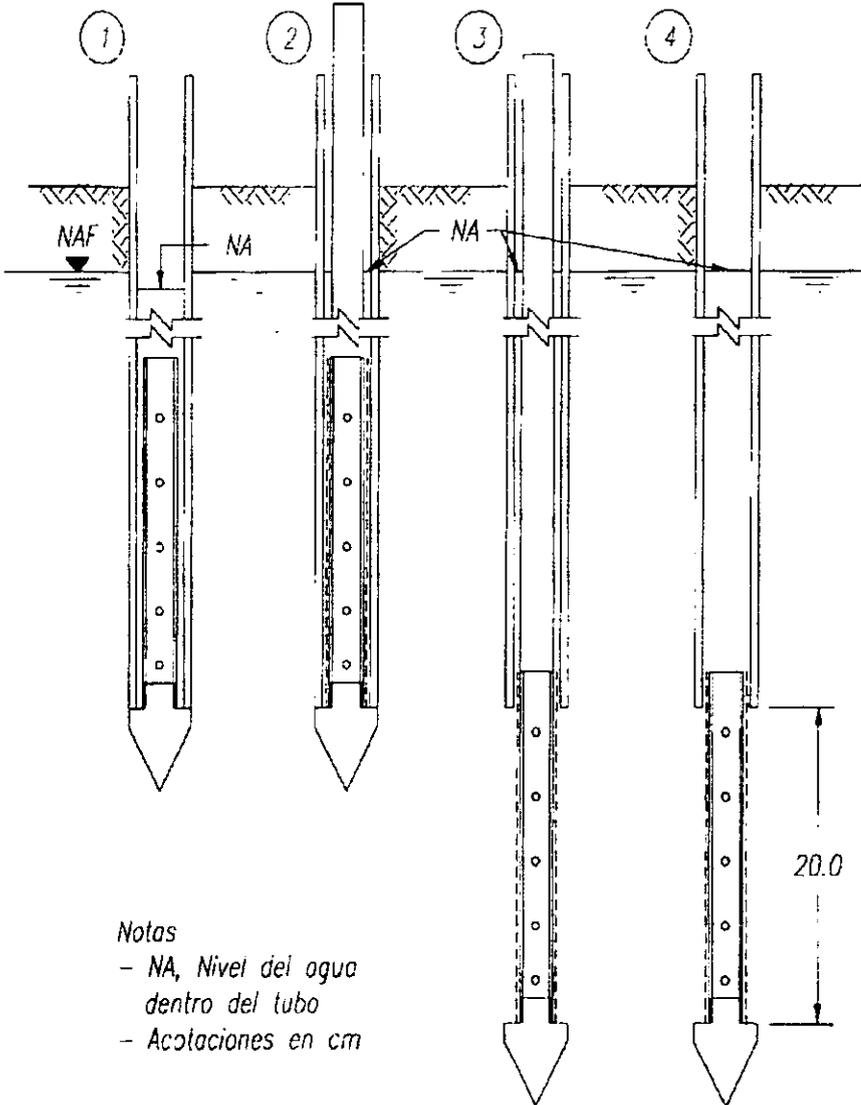


FIGURA 2.2. 10



- Notas
- NA, Nivel del agua dentro del tubo
 - Acolaciones en cm

FIGURA 2.2. 11

Metodo geosismico de refraccion total.

Con este método es posible: Interpretar la estratigrafía del sitio, clasificar suelos y rocas, estimar el módulo elástico dinámico del medio. El método consiste en determinar el tiempo de arribo de las ondas longitudinales sísmicas, generadas por una pequeña explosión o impacto, a geofonos captadores que envían su señal a un sismógrafo receptor; con esta información se calcula la velocidad de propagación de las ondas. El equipo consta de un dispositivo generador de la onda que puede ser un explosor o un marro instrumentado con un sensor de impacto, el conjunto electromagnético que al vibrar con el suelo emiten una señal eléctrica, el sismógrafo receptor que recibe la señal de los geofonos en galvanómetros de espejo y que la registra en papel fotosensible. La principal aplicación de este método es la de determinar la profundidad de la roca bajo un depósito aluvial de difícil exploración directa.

Metodo de resistividad electrica.

Con este método se permite definir la estratigrafía, por correlación, clasificar suelos y rocas del sitio y definir la posición del nivel freático. La precisión de este método para predecir la estratigrafía de un sitio es generalmente menor que el de refracción sísmica y por ello se utiliza menos, sin embargo, es más confiable para determinar la posición del nivel freático. El método de resistividad eléctrica consiste en determinar la variación con la profundidad de las resistividades aparentes en un medio en que se ha inducido un campo eléctrico; el equipo consiste en una fuente de poder, voltímetro, amperímetro y cuatro electrodos, como se muestra en la figura 2.2.12.

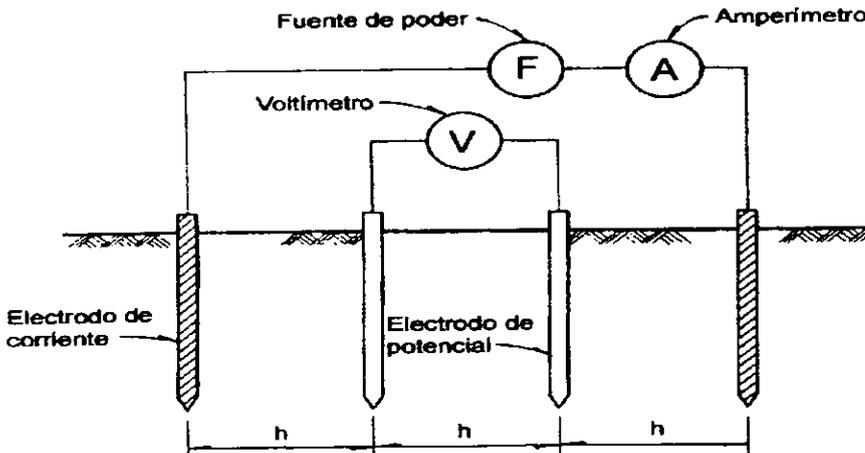


FIGURA 2.2. 12

Metodo con radar.

Este método esta basado en la propagación de impulsos de ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia (100 a 1000MHz) hacia el interior del suelo; estas ondas son reflejadas por anomalías del subsuelo como irregularidades, interfaces o discontinuidades; localizadas a diferentes profundidades que después se captan por medio de una antena en la superficie del suelo. El sistema de monitoreo permite conocer la profundidad de la anomalía. La profundidad máxima de exploración es 30m.

ENSAYES DE LABORATORIO.

Los estudios de laboratorio nos permiten conocer de una manera mas acertada las características del suelo, según tipo de muestra obtenida podemos conocer las propiedades índice y las propiedades mecánicas, con las primeras podemos obtener la granulometría, el contenido de agua, los límites de consistencia, la densidad de sólidos y el peso volumétrico, para determinar estas propiedades bastara contar solamente con muestras alteradas, mientras que para las propiedades mecánicas será necesario contar con muestras inalteradas con las que podremos determinar la resistencia al esfuerzo cortante mediante una de las siguientes pruebas: compresión triaxial, compresión no confinada, corte directo y torcometro; También se puede determinar la deformabilidad del suelo ya sea de compresión o expansión.

Clasificar cuidadosamente los suelos encontrados y obtener sus parámetros de resistencia y deformabilidad son necesarios para el diseño de la cimentación. A continuación se comentan algunos aspectos de la ejecución de las pruebas mecánicas que puedan influir significativamente para la aplicación de resultados al diseño de cimentaciones con pilas y pilotes.

Las propiedades índice relevantes de las muestras alteradas e inalteradas se determinaran siguiendo procedimientos generalmente aceptados para este tipo de pruebas. El número de ensayos realizados deberá ser suficiente para poder clasificar con precisión el suelo de cada estrato. En materiales arcillosos, se hará por lo menos tres determinaciones de contenido de agua por cada metro de exploración y en cada estrato individual identificable.

Las propiedades mecánicas (resistencia y deformabilidad a esfuerzo cortante y compresibilidad) e hidráulicas (permeabilidad) de los suelos se determinan, en su caso, mediante procedimientos aceptados en laboratorio o campo. Las muestras de materiales cohesivos ensayadas serán siempre de tipo inalterado. Para determinar la compresibilidad, se recurrirá a pruebas de consolidación unidimensional y para la resistencia al esfuerzo cortante, a las pruebas que mejor representen las condiciones de drenaje y variación de carga que se desea evaluar. Cuando se requiera, las pruebas se conducirán de modo que permitan determinar la influencia de la saturación, de las cargas cíclicas y de otros factores significativos sobre las propiedades mecánicas estáticas y dinámicas de los materiales ensayados. Se realizaran por lo menos dos series de pruebas de resistencia y de consolidación en cada estrato identificado de interés para el análisis de la estabilidad o de los movimientos de la construcción.

Será aceptable la estimación de propiedades mecánicas basada en los resultados de penetración de cono, veleta, presiómetro, o algún otro ensaye de campo, si sus resultados se han correlacionado confiablemente con los de pruebas convencionales para los suelos de que se trate.

Los estudios de amplificación sísmica local y de interacción suelo-estructura deberán basarse en determinaciones de campo y/o de laboratorio de las propiedades dinámicas del subsuelo.

Suelos predominantemente cohesivos.

En suelos donde se encuentran en cantidades abundantes materiales cohesivos es necesario conocer su resistencia al esfuerzo cortante y su compresibilidad. La obtención de los parámetros de resistencia al corte dependerá del criterio de diseño a utilizar ya sea a partir de esfuerzos totales o esfuerzos efectivos.

Criterio de esfuerzos totales.

La prueba debe realizarse a partir de la obtención de una muestra inalterada, se recomienda realizar una prueba triaxial no consolidada no drenada (UU), para así poder evaluar la resistencia al corte no drenada del suelo c_u , a partir de este parámetro se estima la adherencia suelo-pilote c_a .

Criterio de esfuerzos efectivos.

Al igual que el anterior debe utilizarse especímenes labrados de una muestra inalterada, cuidando de no modificar su contenido de agua natural, debe determinarse la cohesión c y el ángulo de fricción interna ϕ del suelo en términos de esfuerzos efectivos. Pueden realizarse pruebas triaxiales consolidadas drenadas (CD) y consolidadas no drenadas con medición de presión de poro (CU). Alternativamente, puede usarse la prueba de corte directo, que permite utilizar especímenes de poco espesor, reduciéndose así el tiempo de ensaye, en este caso se requiere una interpretación cuidadosa.

El otro parámetro a determinar cuando se trata de suelos predominantemente cohesivos es la compresibilidad, que la podemos definir como la magnitud del asentamiento que sufrirá una estructura y su variación con el tiempo, estos asentamientos pueden estimarse a partir de los resultados de pruebas de consolidación unidimensional en especímenes obtenidos de una muestra inalterada, según la estratigrafía del lugar y la profundidad de influencia de las pilas o pilotes será el número de pruebas a realizarse.

Suelos predominantemente friccionantes.

Cuando se trata de suelos donde predominan las arenas y las gravas, para el diseño de pilas o pilotes es necesario conocer la magnitud del ángulo de fricción ϕ del suelo en términos de esfuerzos efectivos, lo cual se determina mediante pruebas triaxiales consolidadas drenadas. Es importante tomar en cuenta que para arenas mediana o muy compactas, el valor del ángulo ϕ puede disminuir apreciablemente al aumentar los esfuerzos efectivos, otros factores que deben determinarse son el módulo de deformabilidad E del suelo, y de la relación de Poisson ν del material. Para determinar E se realizan pruebas de compresión confinada en odómetro aplicando esfuerzos verticales que rebasen el valor del

esfuerzo vertical actuante σ_v en especímenes elaborados con una compactación semejante a la que tendrá el suelo después de la instalación del cimiento. La deformabilidad a largo plazo de los suelos granulares puede considerarse prácticamente despreciable para los niveles de esfuerzos de trabajo usuales. Además las deformaciones inducidas ocurren inmediatamente con la aplicación de la carga. No se acostumbra por tanto, efectuar en el laboratorio pruebas para determinar los parámetros de deformabilidad de las arenas.

II.3 DISEÑO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.

El diseño geotécnico y estructural se basa en los resultados obtenidos del estudio del subsuelo tomando en consideración el tipo de pruebas de campo y de laboratorio realizadas incluyendo su cantidad, con lo que se podrá determinar el tipo de cimentación a utilizar. La determinación de la capacidad de carga de un pilote es uno de los puntos más sujetos a incertidumbres por lo imperfecto de las teorías de que se dispone, de la dificultad de cuantificar la influencia del método constructivo del pilote y del desconocimiento de cómo deben ser tomadas en cuenta las características esfuerzo-deformación de los suelos.

El análisis de una cimentación profunda se inicia con la selección de aquellos elementos que sean compatibles con la estratigrafía y propiedades mecánicas de los suelos o rocas del sitio, a partir se define la capacidad del desplante, la dimensión de los elementos y la determinación del proceso constructivo más adecuado, se verifica que cumpla con la reglamentación correspondiente y se recomienda hacer pruebas de carga para verificar la validez del diseño.

En términos generales, toda cimentación debe diseñarse para satisfacer los siguientes requisitos esenciales: seguridad adecuada contra la falla y funcionalidad de la estructura. Para un caso específico, uno de estos requisitos condicionara las dimensiones de la cimentación; por tanto, es necesario calcular la capacidad de carga y las deformaciones probables de la cimentación.

La capacidad de carga de una cimentación profunda depende fundamentalmente de la resistencia al corte del suelo en el cual se apoya y del mecanismo de transferencia de carga al suelo.

DISEÑO GEOTÉCNICO.

El diseño geotécnico de una cimentación profunda comprende las siguientes etapas:

1. Investigación geotécnica.
2. Selección del elemento de cimentación y del equipo de construcción.
3. Determinación preliminar de la longitud y capacidad de carga del elemento.
4. Verificación de las etapas 2 y 3 con los datos obtenidos en pruebas de carga.

Los métodos de investigación del subsuelo para determinar el carácter de los depósitos naturales, así como las pruebas de laboratorio necesarias para el conocimiento de las propiedades de los suelos que intervienen en el cálculo de capacidad de carga y asentamientos de cimientos profundos son los descritos en el subcapítulo anterior.

La selección del tipo de cimentación profunda se efectúa en base al estudio de las condiciones de apoyo, en los principios de la mecánica de suelos y en la experiencia local de este tipo de cimentaciones, además de considerar el equipo de construcción disponible y las restricciones impuestas.

La determinación preliminar de la longitud y capacidad de carga individual y de grupo del elemento seleccionado permitirá estimar los costos probables de la cimentación y juzgar la conveniencia de realizar pruebas de carga antes del diseño final o durante la etapa de construcción. La capa de apoyo se elige como resultado del estudio de los perfiles de suelos y de las características de los depósitos. Una vez definida la longitud necesaria de penetración en dicha capa, se determina la longitud probable de pilotes o pilas.

La capacidad de los pilotes o pilas depende tanto de las propiedades mecánicas del suelo o roca en que se apoye la cimentación, como del tamaño y forma del área cargada y del tipo de superestructura. Para definir esta capacidad se recomienda:

1. Estudiar los registros de comportamiento de cimentaciones con características similares.
2. Determinar teóricamente la capacidad de carga última y los asentamientos que podrán presentar.
3. Realizar pruebas de carga en pilotes o pilas del tipo que se pretende utilizar.

Diseño de cimentaciones profundas.

Los análisis geotécnicos y el diseño de una estructura y sus componentes deben cumplir con dos requisitos principales:

1. Tener una seguridad adecuada contra colapso bajo cargas y fuerzas máximas que puedan razonablemente ocurrir durante la vida útil de la estructura.
2. Cumplir con las funciones para las que fue diseñada, sin deformaciones excesivas, ni deterioros de sus materiales durante su vida útil.

Acciones de diseño.

Se consideraran lo señalado por el reglamento de construcciones del Distrito Federal, para la definición de acciones y combinaciones para el diseño de una cimentación profunda.

1. Las acciones permanentes son las que obran en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad varía poco con el tiempo. Las principales acciones que pertenecen a esta categoría son: la carga muerta; el empuje estático de tierras y de líquidos y desplazamientos impuestos a la estructura que varían poco con el tiempo, como los debidos a los preesfuerzos o movimientos diferenciales permanentes de los apoyos.
2. Las acciones variables son las que obran sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo. Las principales acciones que entran en esta categoría son: la carga viva; los efectos de temperatura; las deformaciones impuestas, los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo y las acciones debidas al funcionamiento de maquinaria y equipo, incluyendo los efectos dinámicos que pueden presentarse debido a vibraciones, impacto o frenaje.

3. Las acciones accidentales son las que no se deben al funcionamiento normal de la construcción y que pueden alcanzar intensidades significativas durante lapsos breves. Pertenecen a esta categoría, las acciones sísmicas, los efectos del viento, los efectos de explosiones, incendios y otros fenómenos que puedan presentarse en casos extraordinarios.

Para el diseño de cimentaciones se consideraran dos combinaciones de acciones:

1. Primer tipo de combinación. Acciones permanentes más acciones variables incluyendo la carga viva; con este tipo de combinación se revisan tanto los estados límite de servicio como los de falla. Las acciones variables se consideran con su intensidad media para fines de cálculos de asentamientos u otros movimientos a largo plazo. Para la revisión de estados límites de falla, se considera la acción variable más desfavorable con su intensidad máxima y las acciones restantes con intensidad instantánea.
2. Segundo tipo de combinación. Acciones permanentes más acciones variables con intensidad instantánea y acciones accidentales de viento o sismo. Con esta combinación se revisaran los estados límite de falla y los estados límite de servicio asociados a deformaciones transitorias y permanentes del suelo bajo cargas accidental.

En el caso de las cimentaciones profundas en las zonas II y III se incluirá entre las acciones de la fricción negativa que puede desarrollarse sobre el fuste de los pilotes o pilas por consolidación del terreno circundante. Para estimar esta acción se considerará que el máximo esfuerzo cortante que puede desarrollarse en el contacto pilote-suelo es igual a la cohesión del suelo determinada en prueba triaxial no consolidada no drenada bajo presión de confinamiento representativa de las condiciones del suelo.

Factores de carga y de resistencia.

Los factores de carga que deberán aplicarse a las acciones para el diseño de cimientos serán, para el primer tipo de combinación de carga, se especifican factores de carga de 1.5 en construcciones del tipo A y de 1.4 en las del grupo B. Para el segundo tipo de combinación, el factor de carga es de 1.1 y se aplica a todas las acciones que intervienen en esta combinación. Ante acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de las estructuras, el factor de carga es de 0.9.

Los factores de resistencia relativos a la capacidad de carga de cimentaciones serán los siguientes para todos los estados límites de falla:

1. 0.35 para pilas y pilotes apoyados en un estrato resistente.
2. $0.7(1-s/5)$, en que s es la relación entre los máximos de la sollicitación sísmica y la sollicitación total que actúan sobre un pilote, para la capacidad de carga por adherencia de los pilotes de fricción ante la combinación de acciones que incluya las sollicitaciones sísmicas.
3. 0.70 para los otros casos.

Verificación de la seguridad.

Se refiere que el diseño de cimientos profundos debe considerar los estados límites de falla y de servicio. El estado límite de falla se refiere al desplazamiento plástico local o general del suelo bajo la cimentación y/o a la falla estructural de la cimentación o de sus componentes. Por su parte el estado límite de servicio comprende los movimientos verticales de la cimentación ya sean estos asentamientos o emersiones, inclinaciones de la estructura y deformaciones estructurales de la misma y de estructuras vecinas; en estos movimientos se consideran los componentes inmediatos y los accidentales por sismo o viento, así como la combinación de los tres.

Capacidad de carga.

De acuerdo con el reglamento de construcciones del Distrito Federal y las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones se tienen tres criterios para determinar los estados límite de falla y los estados límite de servicio para el diseño de pilas y pilotes, que son cimentaciones con pilotes de fricción, cimentaciones con pilotes de punta o pilas y una combinación de ambos.

Cimentación con pilotes de fricción.

Como ya se menciono anteriormente son aquellos que transmiten cargas al suelo a lo largo de la superficie lateral.

Estados límite de falla.

Para comprobar la estabilidad de las cimentaciones con pilotes de fricción, se verificará para la cimentación en su conjunto, para cada uno de los diversos grupos de pilotes y para cada pilote individual, el cumplimiento de la desigualdad siguiente para las distintas combinaciones de acciones verticales consideradas.

$$\Sigma QF_c < R \tag{1}$$

Donde.

ΣQF_c Suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada, afectada por su correspondiente factor de carga. Las acciones incluirán el peso propio de la subestructura y de los pilotes o pilas y el efecto de la fricción negativa que pudiera desarrollarse sobre el fuste de los mismos o sobre su envolvente.

R Capacidad de carga del sistema constituido por pilotes de fricción mas losa o zapatas de cimentación, que se considera igual al mayor de los dos valores siguientes.

1. Capacidad de carga del sistema suelo-zapatas o suelo-losa de cimentación, despreciando el efecto de los pilotes, si este es el valor que rige, la losa o las zapatas y las contraejes deberán diseñarse

estructuralmente para soportar las presiones de contacto suelo-zapata o suelo-losa máximas calculadas, más la concentración de carga correspondiente a la capacidad de carga total de cada pilote dada por la ecuación 2. con $F_R=1$.

2. Capacidad de carga del sistema suelo-pilotes de fricción se considerará igual a la combinación de las capacidades de carga de punta de los pilotes individuales más el menor de los siguientes valores.
 - Suma de las capacidades de adherencia de los pilotes individuales.
 - Capacidad de adherencia de una pila de geometría igual a la envolvente del conjunto de pilotes.
 - Suma de las capacidades de adherencia de los diversos subgrupos de pilotes en que pueda subdividirse la cimentación.

Cuando la capacidad de carga de la cimentación se considere igual a la del sistema de los pilotes de fricción sin contribución de la losa, estos deberán tener la capacidad de absorber la fuerza cortante por sismo al nivel de la cabeza de los pilotes sin tomar en cuenta la adherencia suelo-losa o suelo-zapatas.

En la estimación de la capacidad de carga bajo cargas excéntricas se despreciará la capacidad de carga de los pilotes sometidos a tensión, salvo que se hayan diseñado y construido especialmente para este fin.

La capacidad de carga por adherencia lateral de un pilote de fricción individual bajo esfuerzos de compresión se calculará como:

$$C_f = A_L f F_R \quad (2)$$

Donde:

$F_R = 0.7(1-s/5)$ Factor de resistencia, si la relación entre los máximos de la sollicitación sísmica y la sollicitación total que actúan sobre el pilote.

C_f Capacidad por adherencia, ton.

A_L Área lateral del pilote, m^2 .

f Adherencia lateral media pilote-suelo, ton/m^2 .

Para suelos cohesivos blandos de las zonas II y III la adherencia pilote-suelo se considera igual a la cohesión media del suelo. La cohesión se determinará con pruebas triaxiales no consolidadas-no drenadas.

Para calcular la capacidad de adherencia del grupo de pilotes o de los subgrupos de pilotes en los que se pueda subdividir la cimentación, también será aplicable la ecuación 2 considerando el grupo o los grupos como pilas de diámetro igual al de la envolvente del grupo o subgrupo.

Estados límite de servicio.

Los asentamientos o emersiones de cimentaciones con pilotes de fricción bajo cargas estáticas se estimarán considerando la penetración de los mismos y las deformaciones del suelo que los soporta, así como la fricción negativa y la

interacción con el hundimiento regional. En el cálculo de los movimientos anteriores se tomarán en cuenta las excentricidades de carga.

Deberá revisarse que el desplazamiento horizontal y el giro transitorios máximos de la cimentación bajo la fuerza cortante y el momento de volteo sísmicos no resulten excesivos. Las deformaciones permanentes bajo la combinación de carga que incluya el efecto del sismo se podrán estimar a partir de los resultados de pruebas de laboratorio representativas del fenómeno. Para el cálculo de estas deformaciones, se considera que la carga máxima soportada por los pilotes en condiciones sísmicas es la definida por la ecuación 2.

Cimentaciones con pilotes de punta o pilas.

Los pilotes de punta son los que transmiten la mayor parte de la carga a un estrato resistente por medio de su punta. Generalmente, se llaman pilas a los elementos de más de 80cm de diámetro colados en perforación previa.

Estados límite de falla.

Se verificará el cumplimiento de la ecuación 1, siendo R la suma de las capacidades de carga individuales o de grupos o la global del conjunto de pilotes, cual sea menor.

La capacidad de carga de un pilote de punta se calculará como sigue.

Para suelos cohesivos:

$$C_p = (c_u N^* F_R + p_v) A_p \quad (3)$$

Para suelos friccionantes.

$$C_p = (P_v N^*_q F_R + p_v) A_p \quad (4)$$

Donde.

C_p Capacidad por punta, ton.

A_p Área transversal de la pila o del pilote, en m^2 .

p_v Presión vertical total debida al peso del suelo a la profundidad de desplante de los pilotes, t/m^2 .

P_v Presión vertical efectiva debida al peso del suelo a la profundidad de desplante de los pilotes, t/m^2 .

c_u Cohesión aparente, en t/m^2 , determinada en ensaye triaxial no-consolidado no-drenado, (UU).

N^*_c Coeficiente de capacidad de carga definido en la tabla siguiente:

ϕ_u	0°	5°	10°
N^*_c	7	9	13

ϕ_u Ángulo de fricción aparente. En grados.

N^* Coeficiente de capacidad de carga definido por:

$$N^* = N_{\min} + L_p(N_{\max} - N_{\min}) / [4B \tan(45^\circ + \phi/2)]$$

Cuando $L/B \leq 4 \tan(45^\circ + \phi/2)$, o bien.

$$N^* = N_{\max}$$

Cuando $L/B > 4 \tan(45^\circ + \phi/2)$.

ϕ	20°	25°	30°	35°	40°
N_{\max}	12.5	26	55	132	350
N_{\min}	7	11.5	20	39	78

L_p Longitud del pilote o pila empotrada en el estrato resistente. M.

B Ancho o diámetro equivalente de los pilotes, m.

ϕ Ángulo de fricción interna, en grados.

F_R Factor de resistencia igual a .35

También podrá utilizarse como alternativa a las ecuaciones 3 y 4 una expresión basada en la penetración estándar o en resultados de pruebas presiométricas. En caso de pilotes o pilas de mas de 0.5m de diámetro, la capacidad calculada mediante las ecuaciones 3 y 4 o sus alternativas deberá corregirse para tomar en cuenta el efecto de escala en la forma siguiente.

Para suelos friccionantes, multiplicar la capacidad calculada por el factor:

$$F_{re} = [(B+0.5)/2B]^n \tag{5}$$

Donde:

B Diámetro de la base del pilote o pila en metros (>0.5m).

n Exponente igual a 1 para suelo suelto, 2 para suelo medianamente denso y 3 para suelo denso.

Para suelos cohesivos firmes fisurados se multiplicara por el mismo factor de la ecuación 5 con exponente $n=1$. Para pilas coladas en suelos cohesivos del mismo tipo se multiplicará por:

$$F_{re} = (B+1)/(2B+1) \tag{6}$$

Cuando existe un estrato blando debajo de la capa de apoyo de un pilote de punta o pila, deberá verificarse que el espesor h de suelo resistente es suficiente en comparación con el ancho o diámetro B del elemento de cimentación. Se seguirá el criterio siguiente:

- Si $h > 3.5 B$ se ignorará el efecto del estrato blando en la capacidad de carga.
- Si $3.5B > h > 1.5B$ se verificará la capacidad de carga del estrato blando suponiendo que el ancho del área cargada es $B+h$
- Si $h < 1.5B$ se procederá en la misma forma considerando un ancho igual a:

$$B\{1+2/3(h/B)^2\} \quad (7)$$

El criterio anterior se aplica también a grupos de pilotes.

Los pilotes de pequeño diámetro deberán revisarse por pandeo verificando que la fuerza axial a la que se encontraran sometidos; con su respectivo factor de carga, no rebasara la fuerza crítica P_c definida por:

$$P_c = F_R [(N^2 \pi^2 EI / 4L^2) + (4k\phi L^2 / N^2 \pi^2)] \quad (8)$$

Donde:

- k Coeficiente de relación horizontal del suelo, t/m^3 .
- ϕ Diámetro del pilote, m.
- E Módulo de elasticidad del pilote, t/m^2 .
- I Momento de inercia del pilote, m^4 .
- N Número entero determinado por tanteo que genere el menor valor de P_c .
- L Longitud del pilote, m.
- F_R Factor de resistencia igual a 0.35

Estados llmite de servicio

Los asentamientos de este tipo de cimentación se calcularan tomando en cuenta la deformación propia de los pilotes o pilas bajo las diferentes acciones a las que se encuentran sometidas, incluyendo la fricción negativa, y la de los estratos localizados bajo del nivel de apoyo de las puntas. Al calcular la emersión debida al hundimiento regional se tomará en cuenta la consolidación previsible del estrato localizado entre la punta y la cabeza de los pilotes durante la vida de la estructura.

DISEÑO ESTRUCTURAL.

Una vez determinada la estratigrafía del suelo, las propiedades de los suelos, las cargas a las que estarán sometidos los elementos de la cimentación, se determina el material de que estarán hechos los pilotes, las características y

requisitos que deben cumplir. En el diseño estructural de una cimentación profunda deben de tomarse en cuenta varios aspectos para su diseño, algunas de estas pueden omitirse de acuerdo con el proceso constructivo, a continuación se mencionan los factores que intervienen en el diseño estructural:

Capacidad estructural de pilas y pilotes.

Todos los elementos se diseñaran de acuerdo al material con el que estarán fabricados utilizando sus correspondientes factores de carga y de seguridad, debiendo de cumplir con las características necesarias que se requiera según el diseño o estudio geotécnico como son: longitud necesaria de pilotes, tipo de superestructura, disponibilidad de materiales, cargas estructurales, factores que originen deterioro, facilidades de mantenimiento, presupuesto disponible.

Para el diseño estructural deben considerarse los efectos de las siguientes acciones. Las fuerzas transmitidas por la superestructura. Se tomara en cuenta la carga axial cuando los momentos flexionantes y las fuerzas laterales aplicados en el extremo superior sean significativos. Los efectos del propio del pilote y de la fricción, negativa o positiva, desarrollada en el fuste. En pilotes prefabricados deberán revisarse las condiciones de esfuerzos durante el manejo, el transporte e izaje, así como las que se presenten durante el hincado, estas ultimas se explicaran más adelante.

Separación entre pilotes.

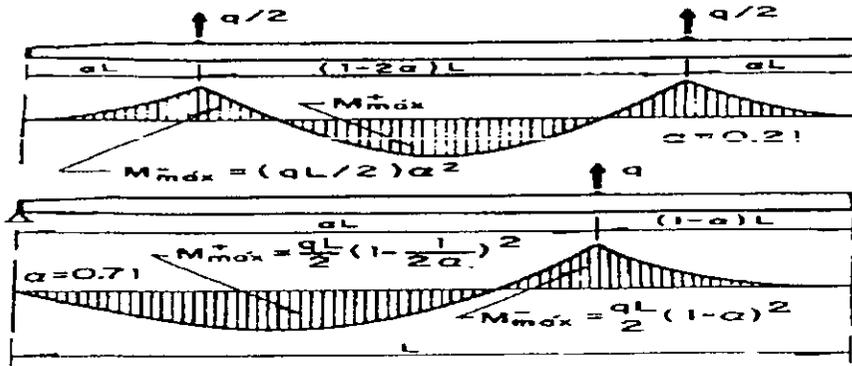
La separación de los pilotes se determina a partir de las características de suelo y de los pilotes tales como longitud, área y forma de la sección transversal y rugosidad superficial. Si los pilotes se encuentran muy juntos además de reducir la capacidad de carga de cada uno de los pilotes, se tendrán problemas durante el hincado como: bufamientos de la cimentación y de levantamiento u otro tipo de daño a pilotes ya instalados.

El espaciamiento mínimo entre centros no deberá ser menor de:

- Dos veces el diámetro del pilote.
- 1.75 veces su dimensión diagonal.
- > de 80 cm. Para pilotes apoyados en roca.
- > de 79 cm para pilotes hincados en suelos.
- > de 3 veces el diámetro en pilotes de punta.
- De 3 a 5 diámetros en pilotes de fricción.

Manejo de pilotes.

Cuando se trata de pilotes de concreto prefabricado estos deben de trasladarse desde la cámara de coitado hasta el lugar donde será hincado, en estos casos el pilote debe también diseñarse para soportar los esfuerzos que se producen en él durante el izaje. En la figura 2.3.1 se presentan las distribuciones de momentos que más comúnmente se producen por el transporte e izado de un pilote.



q es el peso del pilote

FIGURA 2.3. 1

Esfuerzos dinámicos durante el hincado.

Estos esfuerzos en el extremo superior del pilote se dan debido al golpeo durante el hincado, por lo que en pilotes de concreto únicamente se recomienda alargar el pilote un metro, esta longitud adicional es la que se encargara de absorber estos esfuerzos, así una vez hincado el pilote, esta longitud adicional es demolida.

Pilotes de madera.

Uso de pilotes de madera.

Son adecuados para trabajar como pilotes de fricción cuando se trata de suelos conformados por arenas, limos y arcillas; no es recomendable usarlos en materiales granulares compactos como la grava compactada o en roca, debido a lo vulnerable que es la madera en la punta y extremo superior. Se emplean en profundidades que oscilan entre los 6 y 16 metros, con diámetros de 20 a 40cm, su peso es relativamente pequeño si lo comparamos con su resistencia; su manejo es sencillo, pero resulta complicado el empalme de este tipo de pilotes.

Cuando se encuentran por debajo del nivel freático o permanentemente sumergidos, no necesitan tratamiento y tienen una duración indefinida, por el contrario cuando están expuestos al ataque de termitas o no están sumergidos es necesario tratarse para darles protección y evitar su deterioro. En México ya es poco común su uso, pero todavía se pueden encontrar en cimentaciones de carácter temporal.

Diseño estructural.

Como se dijo anteriormente se emplean en obras provisionales, generalmente se emplean para cargas de diseño que están comprendidas entre 10 y 50ton, resisten cargas axiales y laterales comparativamente bajas. Los pilotes de madera deben estar atezados arriba de su empotramiento en el terreno natural o

arriba del nivel de agua, cuando se hincan a través del agua, la parte que queda por arriba del nivel de agua deberá rigidizar con atiesadores diagonales y las partes sumergidas se calculará como columna libre.

Los esfuerzos de fibra en los pilotes de madera se puede calcular con la expresión:

$$F=70(1-L/60d) \quad (9)$$

Donde:

- f Esfuerzos de fibra.
- L Longitud.
- d Diámetro.

Se considera un esfuerzo permisible de trabajo de 70kg/cm² para madera humedecida permanentemente.

Concreto precolados y pretensados.

Uso de pilotes de concreto precolados y pretensados.

Estos tipos de pilotes son los más utilizados en las cimentaciones profundas; por su alta resistencia estructural y la gran variedad de tamaños y capacidad de carga. Además cuentan con grandes ventajas con respecto a otros materiales como: son muy adecuados para trabajar como pilotes de fricción cuando se trata de suelos con alto contenido de arena, grava o arcilla; cuando se emplean como pilotes de punta son capaces de resistir grandes cargas, cuando se requiere pueden resistir fuerzas de tensión si así se diseñan; prácticamente pueden diseñarse para cualquier tipo de material que se encuentre en los estratos del subsuelo, se han utilizado de longitudes de hasta 20m si son pilotes precolados, hasta 40m cuando se trata de pilotes preesforzados, y prácticamente hasta cualquier profundidad utilizando empalmes, pueden diseñarse para resistir la corrosión si se utilizan cementos adecuados, son inmunes al ataque de insectos barrenadores o termitas y son resistentes al fuego.

Se cuenta con una gran variedad de secciones transversales como: cuadradas, hexagonales, octagonales, ochavadas, triangulares y circulares, pudiendo ser de sección variable o constante, las dimensiones pueden variar entre 20 y 60cm medidos diagonalmente o 60cm de diámetro cuando se trata de sección circular; estos últimos pueden ser de sección hueca o presforzados si el diámetro es grande, además de ser adecuados para resistir momentos flexionantes.

Entre las desventajas de este tipo de sección se puede mencionar: la necesidad de contar con una superficie de colado y tiempo de curado para su fabricación, así como del equipo para el izado e hincado, además los pilotes pretensados son difíciles de empalmar y al hincarlos se produce un desplazamiento considerable de suelo.

Diseño estructural.

Para resistir los momentos flexionantes debidos al manejo, a esfuerzos combinados axiales y flexionantes causados por el hincado y por las cargas estáticas y esfuerzos de tensión ocasionados por el izado los pilotes deben ser reforzados con acero. Debe tenerse entre el 1 y 2% de acero de refuerzo, usando varillas del N°5 (5/8") colocadas longitudinalmente, y alejados de la cara cuando menos 40mm, mas el grueso de los estribos que deberán de ser del N°3 (3/4") como mínimo y separación de no más de 16 diámetros de varilla, 48 diámetros de estribo, el lado o diámetro del pilote. Ver figura 2.3.2

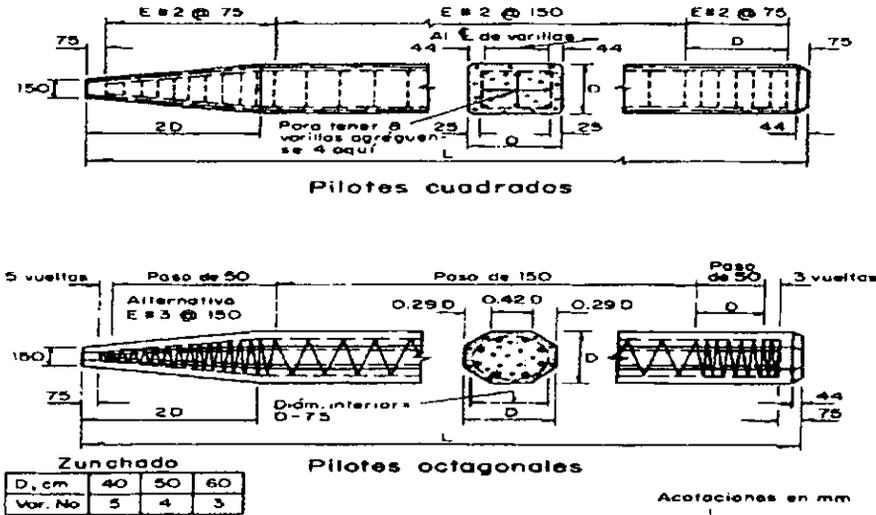


FIGURA 2.3. 2

Para tomar en cuenta la reducción en la capacidad de carga a la compresión en pilotes de concreto presforzado, debida al preesfuerzo se recomienda emplear la siguiente expresión.

$$P = A_c [F_R F_c - (1.1 - (\epsilon_c E_s / f_{so})) f_{pe}] \quad (10)$$

Donde:

- P Combinación de cargas actuantes multiplicada por un factor de seguridad adecuado, t.
- A_c Área total de sección transversal del pilote, cm^2 .
- F_R Factor de resistencia.

- ϵ_c Deformación unitaria del concreto en la falla, supuesta igual a 0.003
 E_s Modulo de elasticidad del acero de preesfuerzo, t/cm^2 .
 f_{so} Esfuerzo después de las pérdidas en el acero de preesfuerzo, t/cm^2 .
 f_{pe} Esfuerzo efectivo en el concreto debido al preesfuerzo después de las pérdidas, t/cm^2
 f_c Resistencia específica de concreto, t/cm^2 .

En la mayoría de los casos prácticos la formula se reduce a:

$$P = A_c (F_R f_c - 0.6 f_{pe}) \quad (11)$$

Debe tomarse en cuenta que esta es una formulación de resistencia ultima de diseño y no un valor de esfuerzo de trabajo.

Pilotes de acero de sección H.

Uso de pilotes de acero de sección H.

Al usarse elementos de sección H cuenta con ventajas y desventajas dentro de las primeras se tienen: Son adecuados para ser usados como pilotes de fricción, de punta o mixtos, facilidad de hincado, desplazamiento de volumen de suelo mínimo, se reducen los problemas de bufamiento, si su punta es protegida adecuadamente pueden cruzar obstrucciones como boleos durante el hincado, facilidad de empalme, alta capacidad de carga tanto axial como por flexión, pueden soportar cualquier manejo y reducción de la separación de pilotes.

La desventaja que presenta es que son muy vulnerables a la corrosión cuando estan expuestos; riesgo de deflexiones cuando se atraviesan obstrucciones grandes.

Diseño estructural.

Este tipo de sección para ser utilizado como pilote debe cumplir con las siguientes características dimensionales.

- La proyección del patín no debe exceder de 14 veces el espesor mínimo del metal, ya sea en el patín o en el alma.
- El ancho del patín no debe ser menor que el 80% del peralte del perfil.
- El peralte nominal en la dirección del alma no debe ser menor de 20cm.
- Los patines y el alma deben tener un espesor mínimo nominal no menor de 1cm.

La longitud sin soporte de pilotes H se debe diseñar con las formulas para columnas de perfiles de acero. La capacidad de carga de pilotes H puede variar entre 40 y 200t.

Pilotes de tubo de acero.

Uso de pilotes de tubo de acero.

Este tipo de pilotes se puede usar como pilotes de fricción, de punta u empotrados en roca, pueden hincarse con la punta abierta o cerrada, llenarse de concreto o mantenerse huecos. Se emplean principalmente cuando los pilotes se pueden apoyar en roca o en un estrato resistente capaz de soportar cargas

concentradas. Son adecuados en trabajos de recimentacion donde el espacio de maniobras es limitado, para el hincado de tubos con punta cerrada se forman adaptándoles una zapata de hincado para obturar el extremo inferior.

Los pilotes de tubo con punta abierta, al contrario que los de extremo cerrado pueden alcanzar grandes profundidades de hincado. debido a su pequeña área de sección transversal, causan un menor desplazamiento del suelo y menor compactación; en suelos cohesivos menor bufamiento del terreno o levantamiento de pilotes vecinos, se pueden alcanzar longitudes hasta de 55m, gracias a la facilidad de los empalmes, los diámetros utilizados pueden ser de hasta 60cm o más (120cm para plataformas marinas)

Diseño estructural.

Al igual que los perfiles de sección H el diseño estructural de pilotes de tubo de acero se regirá de acuerdo a las normas relativas a este tipo de material calculándose como columnas. Cuando se rellenan de concreto, este debe tener un revenimiento mínimo de 13cm y será colocado a través de un embudo corto para que el concreto caiga hacia el centro del pilote permitiendo así la expulsión del aire y eliminando así la posibilidad de que formen vacíos.

No es necesario considerar acciones de manejo debido a las propiedades de acero, en este tipo de pilotes se puede alcanzar capacidades del orden de 200t.

Pilotes y pilas colados en el lugar.

Uso de pilas y pilotes colados en el lugar.

También llamados colados in situ pueden tener diferentes formas y dimensiones, se les conoce como pilas cuando presentan un diámetro mayor de 60cm. Este tipo de elementos requiere de una perforación previa en el suelo y llenarla de concreto. Pueden o no construirse con ademe. El ademe o cimbra ahogada esta formado ya sea por un tubo metálico lo suficientemente pesado para ser hincado sin mandril, o por un tubo metálico ligero hincado con un mandril que se extrae después del hincado. Ambos tipos se pueden reforzar con varillas si es necesario; su uso se ha generalizado debido a su capacidad de carga.

Las ventajas de este tipo de pilotes o pilas son los siguientes: Gran capacidad de carga por punta apoyados en roca. Se pueden utilizar en arcillas duras, se pueden usar longitudes variables, diámetros de hasta 2.5m, capacidad de carga de hasta 2000t, se requiere poco espacio de almacenamiento y no hace falta equipo especial de manejo, no se necesitan recortes ni empalmes, se eliminan los daños causados por el hincado.

Como desventajas de este tipo de elementos podemos mencionar, cuando se tiene que atravesar estratos de materiales no cohesivos sueltos o cuando se presentan condiciones de agua artesiana; en los que será necesario hacer uso de lodos ventoníticos.

Diseño estructural

Cuando el colado se hace con el método de tremie el revenimiento del concreto será de 18cm y una resistencia de 350kg/cm^2 . Si los pilotes se excavan con lodo ventonítico se deberá determinar la calidad del fluido (densidad, viscosidad, etc.) El porcentaje de acero de refuerzo y la longitud del tramo a

reforzarse se determinara de acuerdo al esfuerzo de compresión y flexión que se generen de acuerdo a su análisis. El refuerzo se diseñará según los criterios siguientes: por requisitos estructurales en cuanto a la flexión y la compresión que se trasmite desde la superestructura y por un porcentaje de refuerzo mínimo, que no debe ser menor de 0.6% del área de la sección transversal para reducir el flujo plástico del concreto.

Debe dejarse una separación suficiente entre el armado y las paredes del barreno, así como entre las varillas mismas, para permitir el paso libre del concreto colado, el recubrimiento mínimo será de 7cm, cuando se trate de pilotes expuestos al agua de mar u otros ambientes agresivos el recubrimiento será de 10cm.

Cuando se usen pilas con ampliación de base (campana), la perforación de la misma se hará verticalmente en los primeros 20cm para después formar con la horizontal un ángulo de 60°, el peralte de la campana será por lo menos de 50cm. No deberán construirse pilas de menos de 60cm de diámetro hasta 20m de profundidad ni menos de 80cm hasta 30m ni menos de 100cm hasta profundidades mayores. No deberán construirse pilas con diámetro mayor de 120cm sin ademe o con ademe basado en todos a menos que el estudio del subsuelo muestre que la perforación es estable.

Respecto a la localización de las pilas se aceptara una tolerancia del 4% de su diámetro. La tolerancia en la verticalidad de una pila será del 2% de su longitud hasta 25m de profundidad y de 3% para mayor profundidad. Ver figura 2.3.2

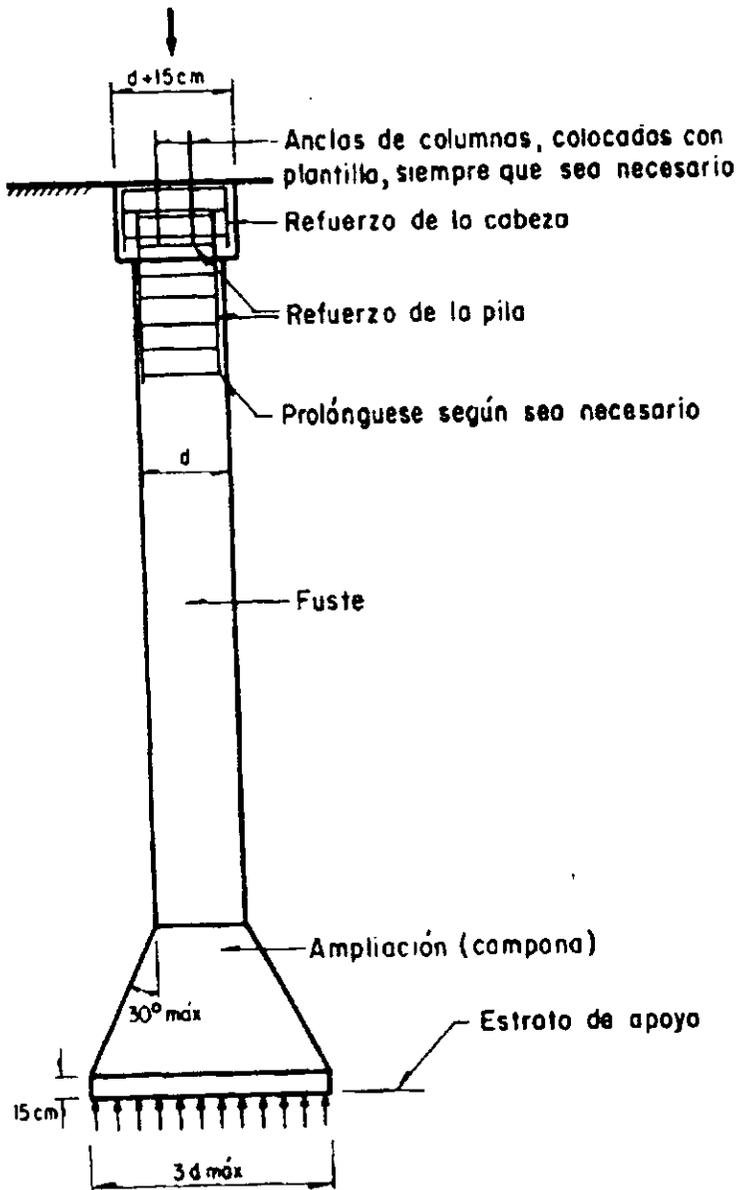


FIGURA 2.3. 3

II.4 CONSTRUCCION DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.

A continuación se presentan algunos de los procedimientos constructivos de las cimentaciones basándose en pilas y pilotes, empezando con el equipo necesario que comúnmente se utiliza México y algunos cuyo uso es común en otros países.

Equipo.

Grúas. Esta formado por un sistema de malacates que acciona a uno o varios cables, montados sobre una pluma y cuyos extremos terminan en gancho, sirven para el levantamiento y manejo de objetos pesados, cuenta con una unidad motriz y puede girar alrededor del eje vertical y la pluma puede moverse en un plano vertical, pueden ser fijas o móviles, cuando es móvil puede trasladarse por si misma, sobre orugas o neumáticos según las condiciones del terreno, figura 4.1.1.

Las plumas de las grúas pueden ser de dos tipos rígidas o telescópicas, se les llama rígidas cuando están formadas por estructuras modulares ya sea de tubo o ángulo estructural, son las que se utilizan generalmente en la construcción de cimentaciones profundas, y prismáticas cuando está formada por elementos prismáticos que se deslizan unos dentro de otros. Las plumas rígidas se integra por una base articulada en el cuerpo de la grúa; después se colocan módulos de 1.5 a 6.1m de largo y finalmente una nariz en cuyo extremo superior se ubican las poleas por donde pasan los cables procedentes de los tambores de los malacates.

Para el montaje de equipos de perforación o hincado, usualmente se requieren grúas de 45 a 80t de capacidad nominal, con plumas rígidas de 18.3m de largo, para maniobras se emplean grúas de menor capacidad nominal, aunque superior a 15t.

Perforadoras. Este tipo de máquinas sirve para hacer barrenos en el suelo, ya sea por rotación o por percusión. En las perforadoras rotatorias, la torsión se transmite por medio de una barra en cuyo extremo inferior se coloca una herramienta de avance tal como una broca, un bote cortador ó una hélice. Por lo general, se utilizan tres tipos de perforaciones con sistema rotatorio:

Con barretón o kelly de perforación. Puede ir montada sobre orugas, figura 2.4.2; sobre grúa; figura 2.4.3; o sobre camión 4.2.4; el kelly puede ser de una pieza o bien telescópico de varias secciones, con el cual, se extrae el suelo perforado.

Con hélice continua. Montada sobre grúa o sobre orugas, El suelo se extrae de manera continua conforme se perfora el suelo, figura 4.2.5.

Circulación inversa. Estos equipos se utilizan para la construcción de pilas y pueden perforar profundidades mayores de 100m, figura 2.4.6

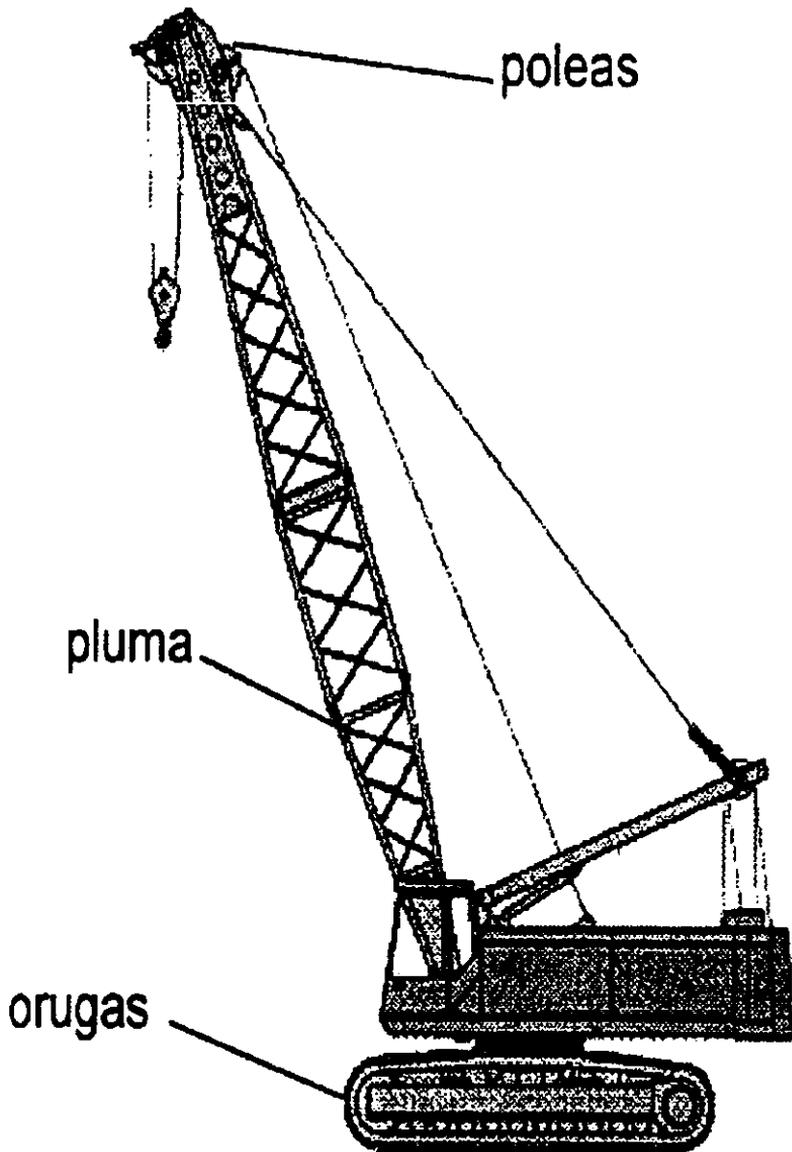


FIGURA 2.4. 1

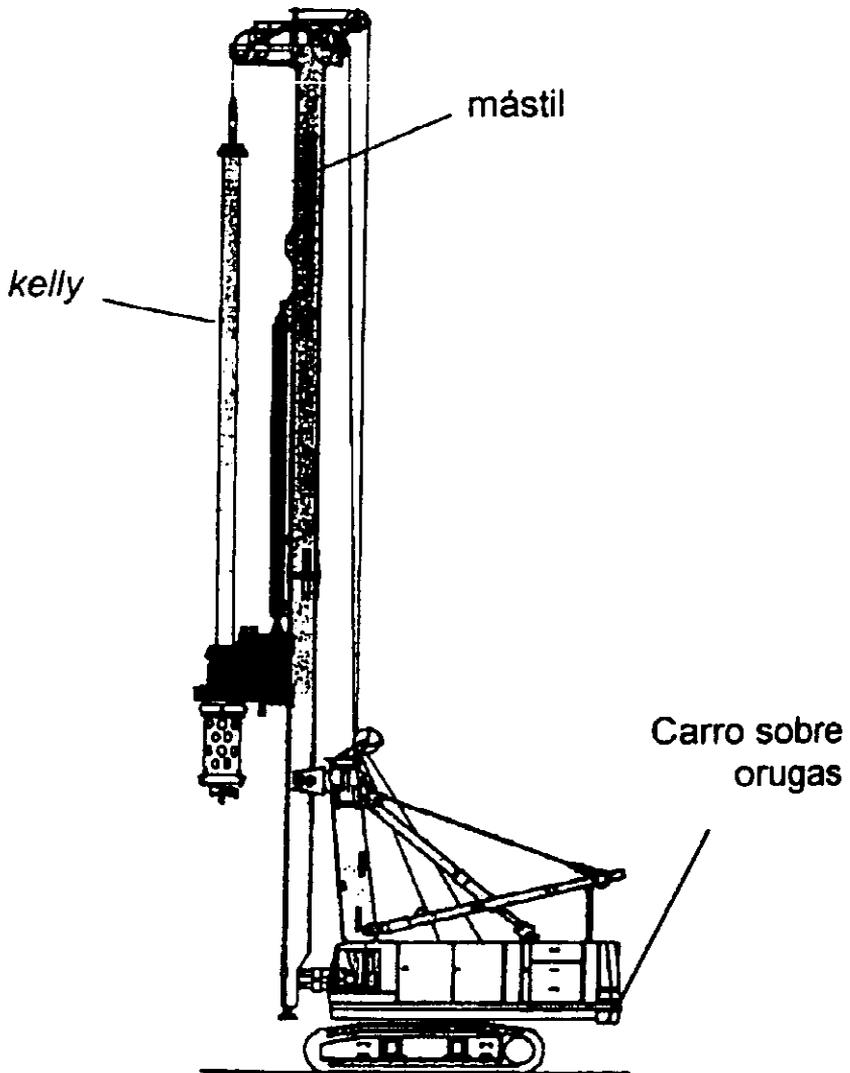


FIGURA 2.4.2

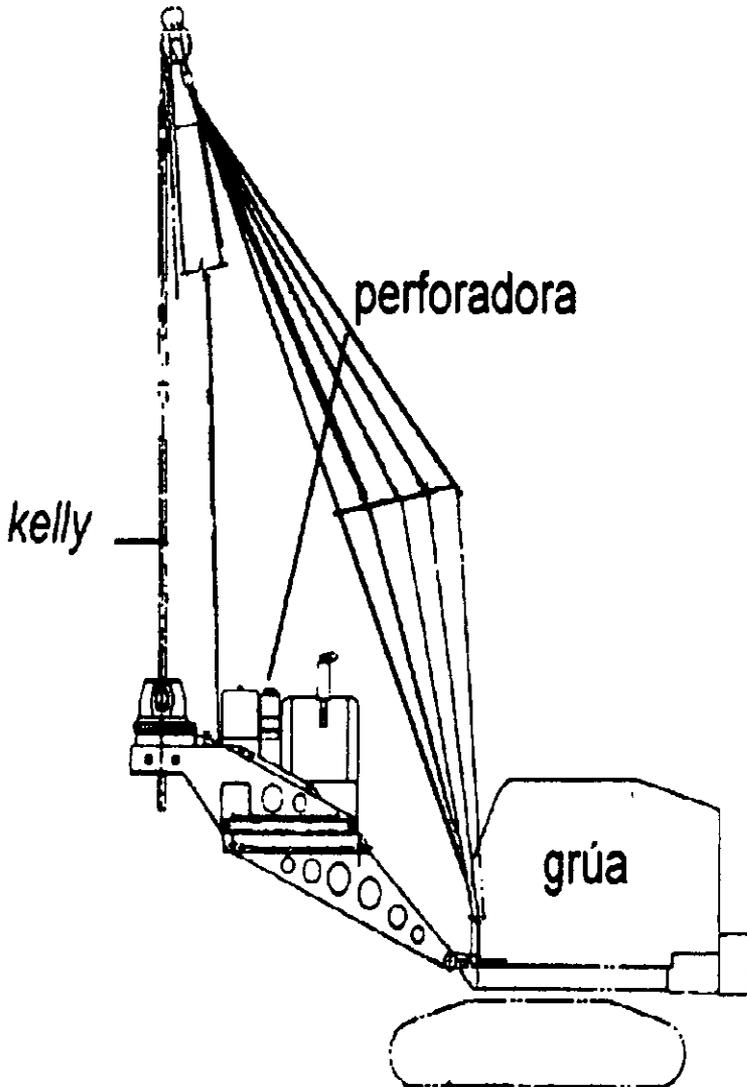


FIGURA 2.4.3

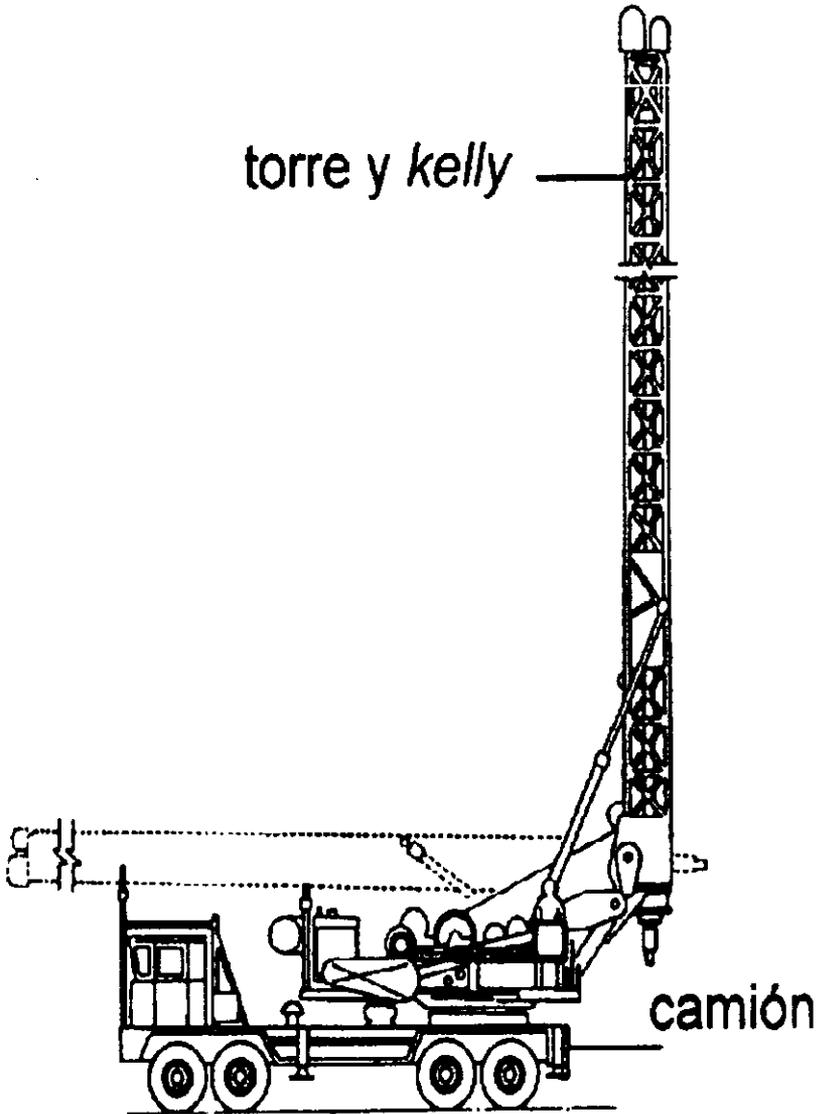


FIGURA 2.4.4

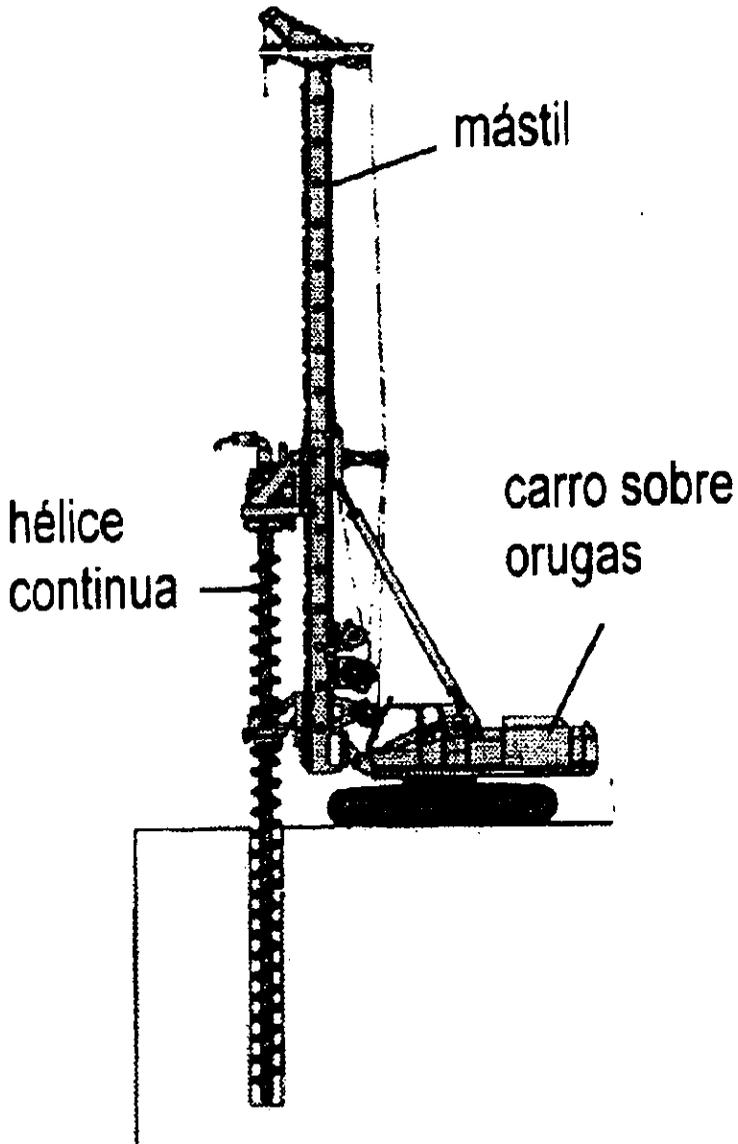


FIGURA 2.4. 5

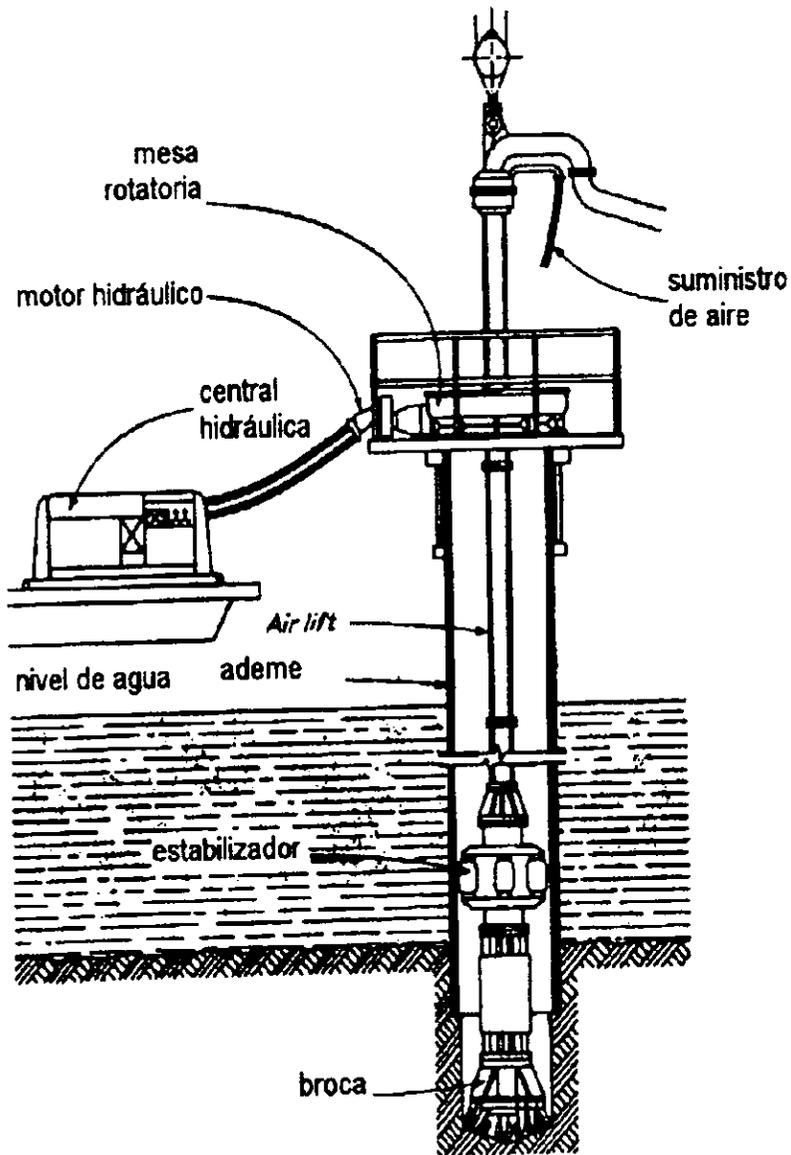


FIGURA 2.4.6

La selección de la perforadora mas adecuada, depende de las características que presenten los materiales del lugar, así como del diámetro y profundidad de las perforaciones por realizar, el uso de ademes metálicos o lodos bentoníticos, entre otros.

Las perforadoras por percusión, transmiten una serie rítmica de impactos al material por perforar, por medio de un elemento de corte o ataque, llamado martillo de fondo a través de un sistema que puede ser neumático o hidráulico. Su aplicación principal es en rocas, ya que en suelos se reduce su eficiencia, puede alcanzar diámetros de hasta 100cm.

Almejas e hidrofresas. Con estos equipos se pueden hacer perforaciones para pilas de cualquier sección como rectangular, oblonga o alguna combinación de estas, mediante el uso de almejas hidráulicas guiadas, integrada por dos quijadas móviles que se accionan con dos cilindros hidráulicos, adosadas en la parte inferior de un barreton o kelly rígido, de una pieza o telescopio, figura 2.4.7 La presión hidráulica del sistema se genera mediante una unidad de potencia que, al igual que el equipo de excavación, se monta sobre una grúa de orugas.

También se puede utilizar para esta operación una hidrofresa, la cual opera con tres motores de fondo, utilizando el principio de circulación inversa. El sistema de corte opera con un par de torsión alto y baja velocidad angular, a una velocidad de avance vertical constante, figura 2.4.8 Este equipo puede perforar hasta 100m de profundidad, cortando inclusive roca.

Vibrohincadores. Son también conocidos como martillos vibratorios, son maquinas diseñadas para hincar y extraer tubos y perfiles de acero en el suelo, figura 2.4.9, el equipo toma su energía de una unidad de potencia formada por un motor de combustión interna de diesel, el cual, acciona un generador eléctrico o una bomba hidráulica, con base en contrapesos excéntricos de rotación contraria. Con un sistema de control remoto arranca o para el generador de vibraciones y acciona las mordazas hidráulicas para sujetar los tubos o perfiles durante el hincado.

La operación para el hincado de un tubo ademe se inicia cuando el vibrohincador se amordaza al borde superior de aquel; Después, se coloca verticalmente en el sitio indicado y se deja que penetre hasta la profundidad de proyecto, por medio de la aplicación de vibraciones, el peso del martillo vibratorio y el tubo.

Osciladoras de ademes. Se trata de equipos utilizados para el hincado de ademes, con movimiento rotacional alterno y una fuerza vertical, se utiliza combinado con perforación rotatoria o la extracción de material con almeja de gajos, usualmente estan acoplados a una perforadora rotatoria sobre orugas, con la que se comparte la central hidráulica, aunque también operan en forma independiente, con una central propia.

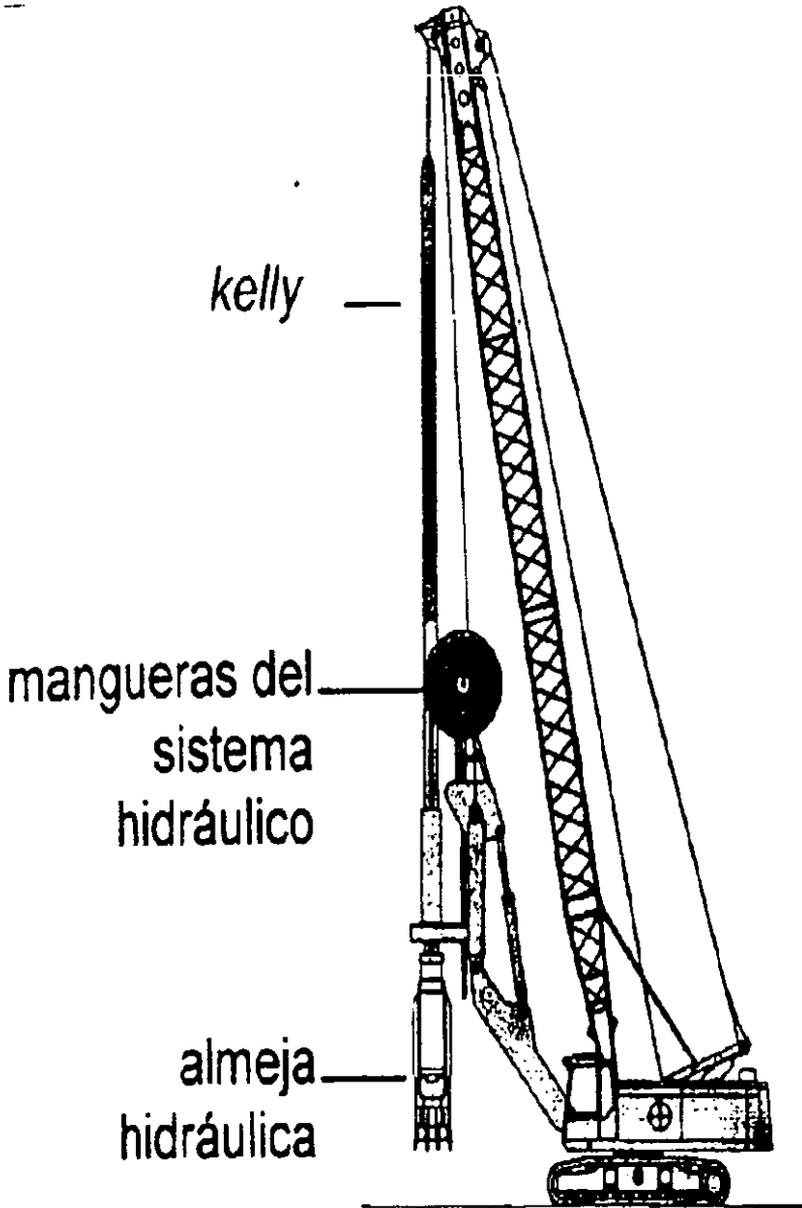


FIGURA 2.4.7

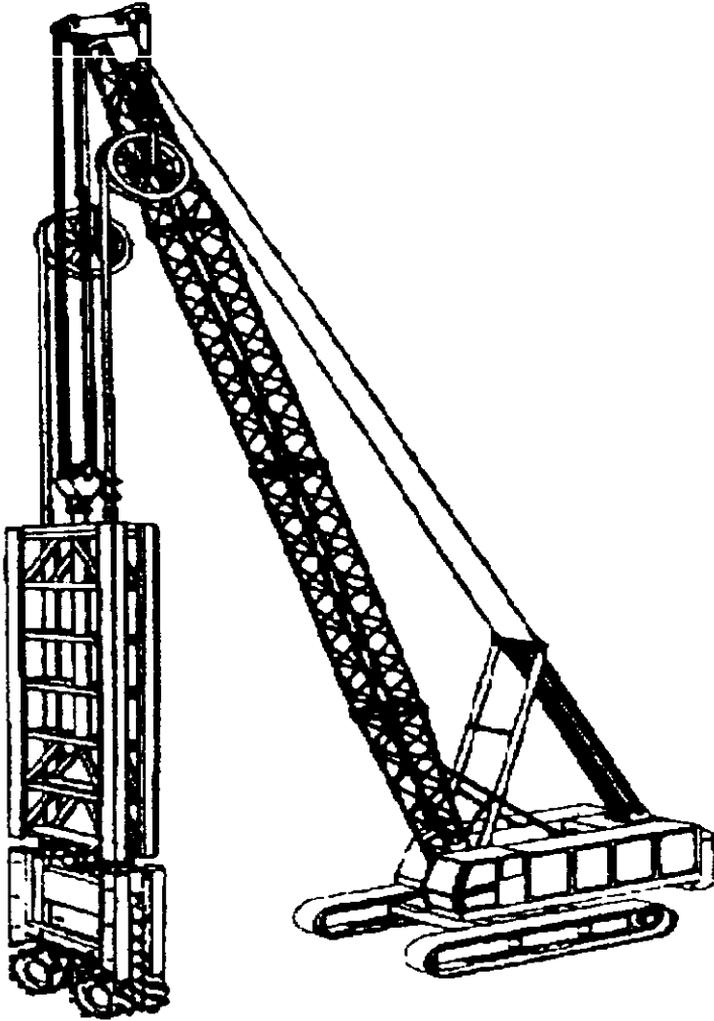


FIGURA 2.4.8

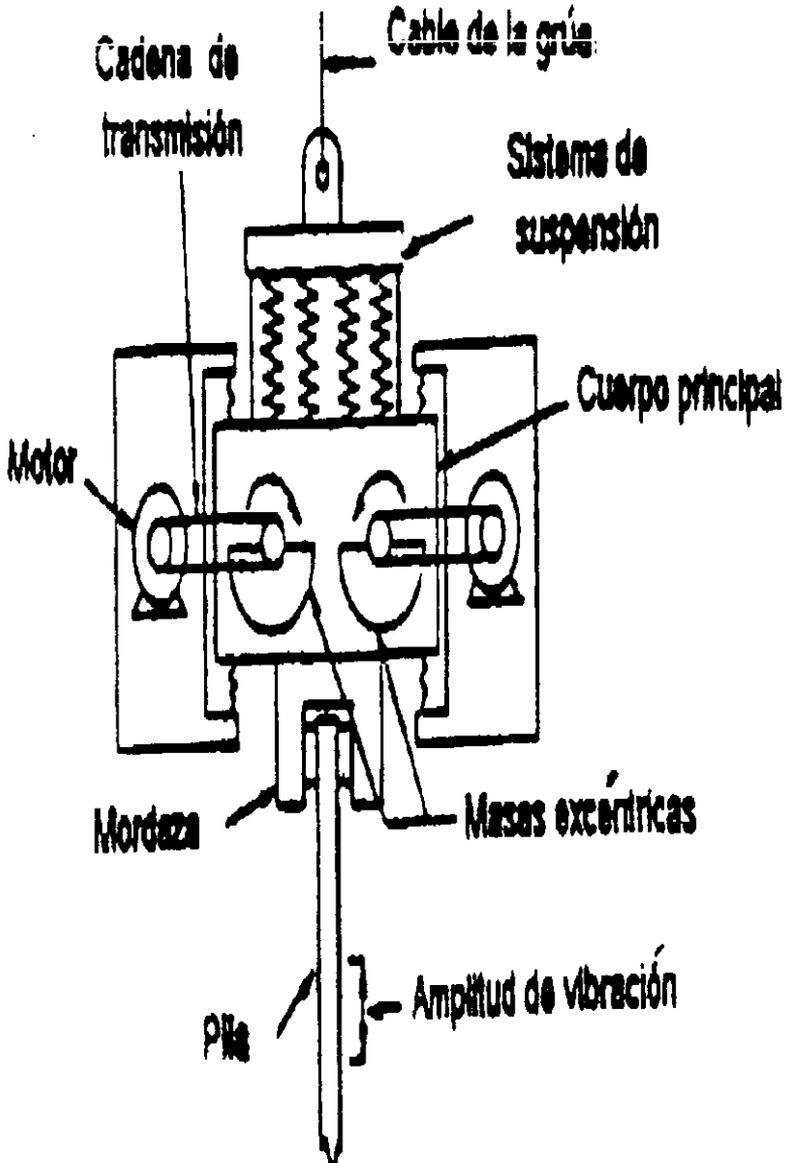


FIGURA 2.4.9

Desarenadores. Se emplean para remover partículas de suelo en lodos de perforación, sus principales componentes son: malla vibratoria para captación de partículas de 5mm hidrociclones, que remueven las partículas finas en suspensión, figura 2.4.10 el lodo circula a través del conjunto de componentes por medio de bombas y tanques de almacenaje temporal.

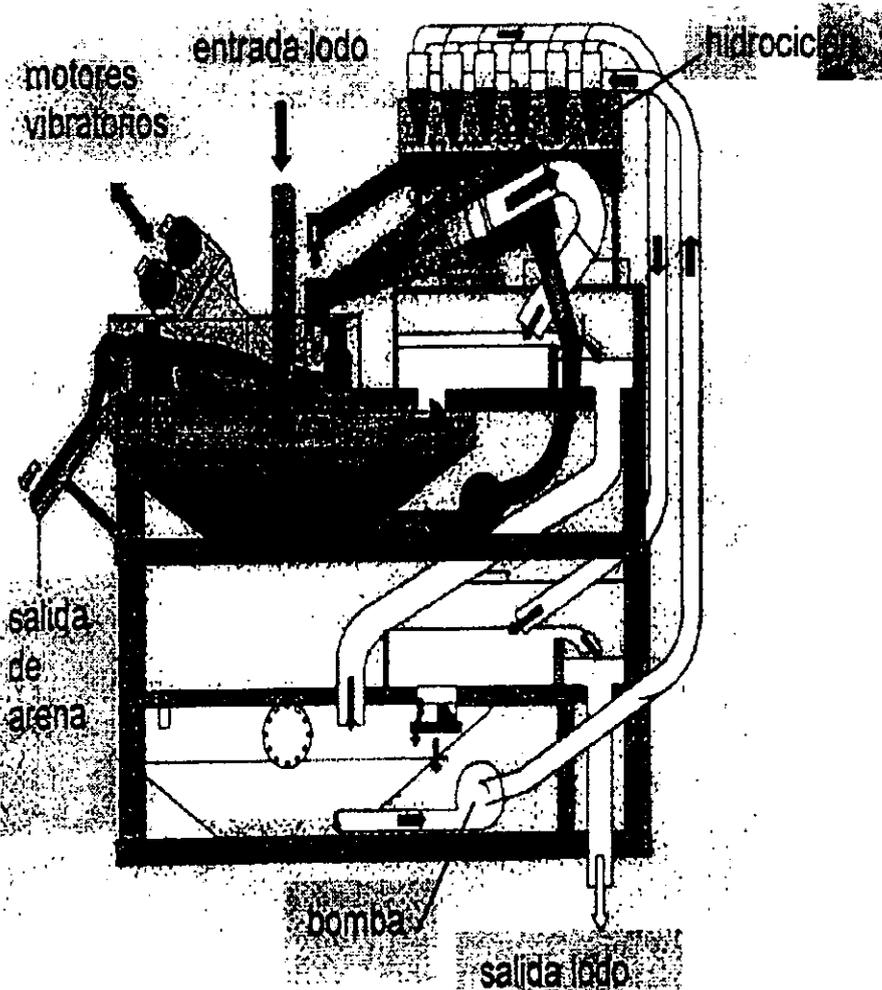


FIGURA 2.4.10

Martillo para hincado. Son equipos que generan impactos en serie para el hincado de pilotes, figura 2.4.11 existen diversos tipos de martillos, los martillos piloteadores originales, fueron masas de caída libre, que se colocaban en posición previa al descenso mediante sistemas manuales o mecánicos. Con el tiempo se desarrollaron nuevas tecnologías, se empezó a utilizar vapor de agua o aire comprimido para levantar la masa que cae; después no solo para levantar la masa sino para acelerar la caída de esta durante su descenso lográndose una mayor energía en el impacto.

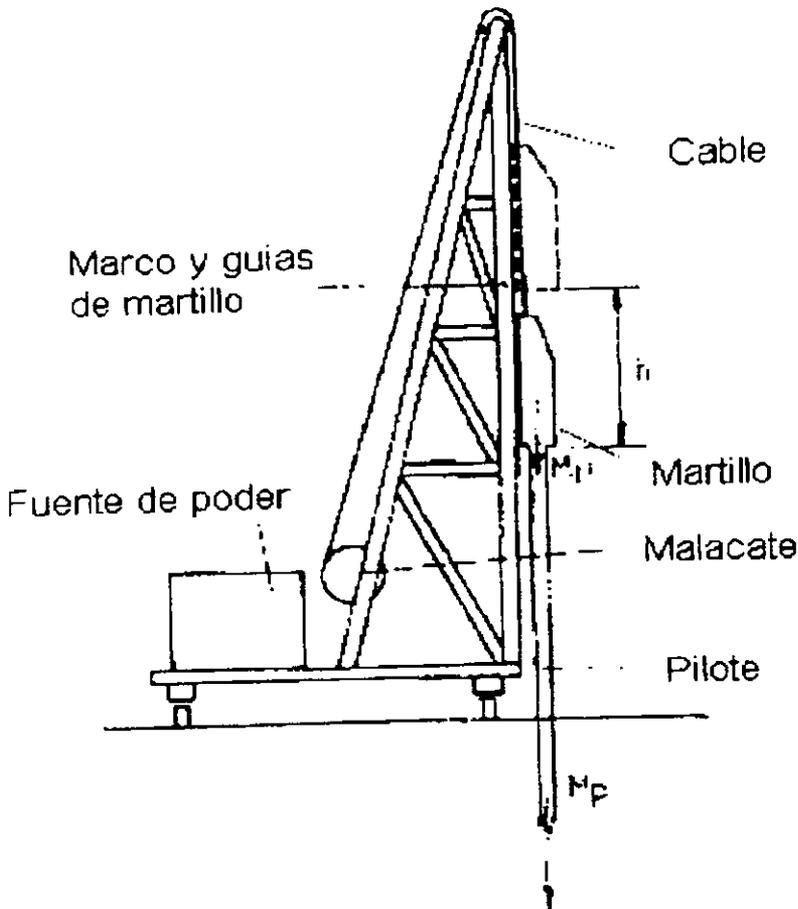


FIGURA 2.4.11

Los más comunes son los martillos de combustión interna que empleaban diesel como combustible para levantar la masa golpeadora, al mismo tiempo que se aprovecha su explosión para incrementar el impacto del hincado. El ciclo de operación de los martillos se inicia con la caída libre de un pistón guiado dentro de un cilindro que, al comprimir el aire en el interior de la cámara de combustión, produce el encendido y explosión súbita del diesel previamente inyectado. La explosión y el impacto de la masa que golpean provocan la penetración del pilote en el terreno y la expansión de los gases quemados impulsa al pistón hacia arriba y así sucesivamente, figura 2.4.12

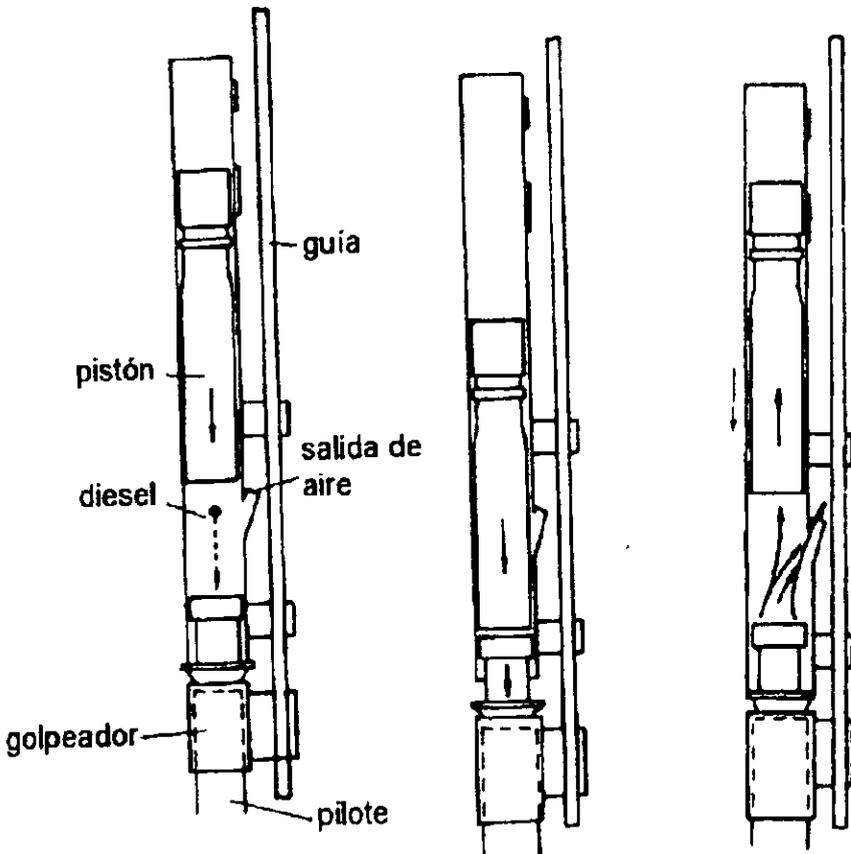


FIGURA 2.4.12

Los martillos de doble acción utilizan aire o vapor, que se inyecta en cilindros superior e inferior del martillo alternativamente, por medio de una válvula accionada por un pistón. Cambiando el suministro de aire al cilindro inferior, se levanta el pistón, y el aire en el cilindro superior es expedido, para repetir el ciclo, figura 2.4.13

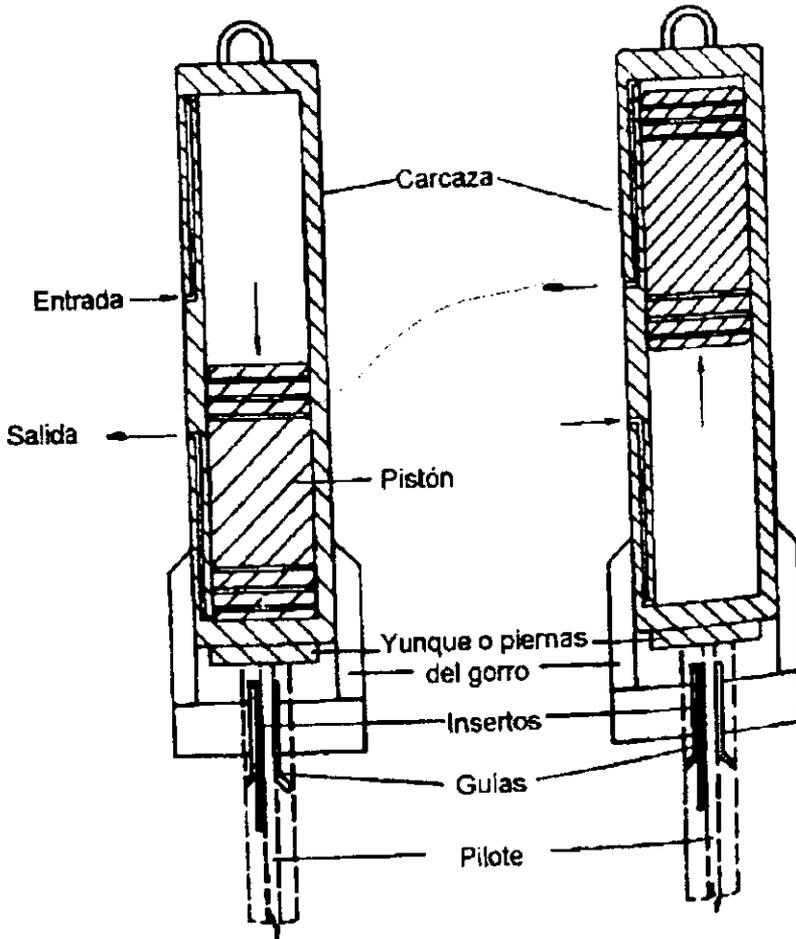


FIGURA 2.4. 13

Con los martillos hidráulicos, el pistón es levantado hidráulicamente y entonces se deja caer libre o aceleradamente. Casi toda la masa del martillo se encuentra en el pistón y su caída se puede controlar automáticamente. En general, producen menos ruido y vibraciones que los martillos diesel. Los martillos neumáticos diferenciales, se utilizan primordialmente para empujar tubos horizontalmente, pero también se adaptan para hincar pilotes de acero, figura 2.4.14

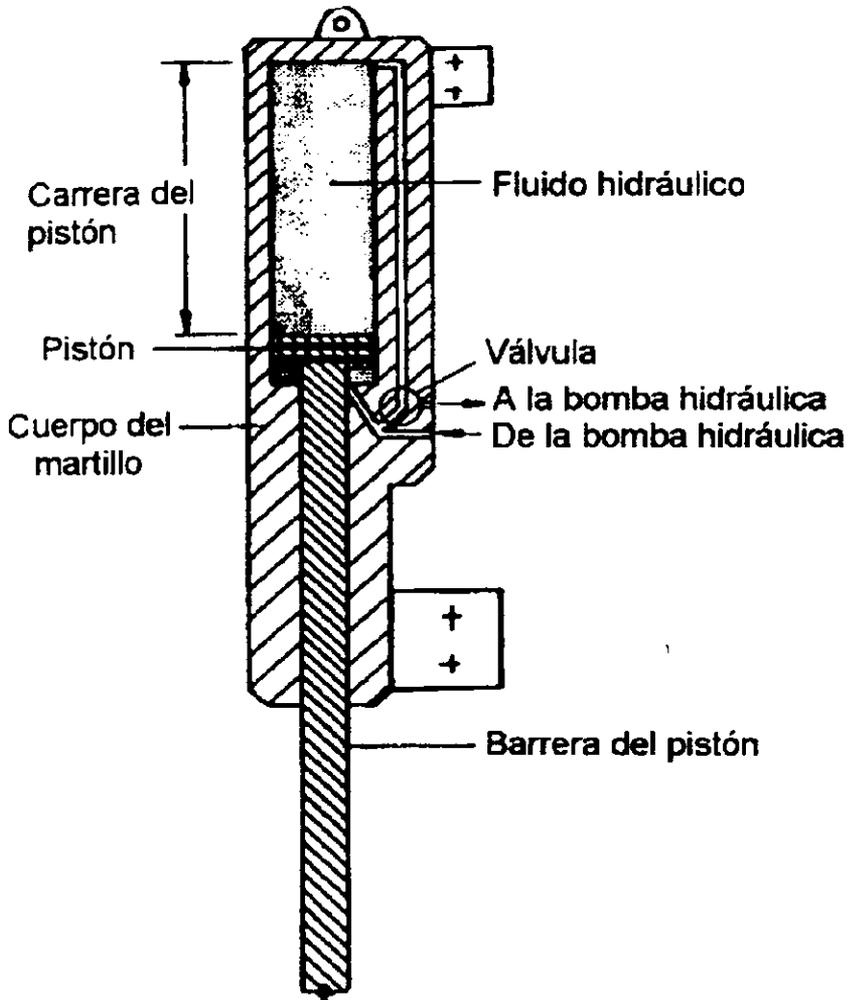


FIGURA 2.4.14

PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

Construcción de pilas.

A muy grandes rasgos se puede decir que las pilas se construyen empezando por perforar el suelo con algún procedimiento, enseguida se coloca el acero de refuerzo y finalmente se vacía el concreto dentro de la excavación, en la construcción de pilas se pueden subdividir estos procedimientos en dos partes según las características del suelo estos pueden ser en seco o bajo el agua o lodo.

En seco. Después de haber realizado la perforación y habiendo certificado que esta se encuentra ejecutada hasta el estrato o profundidad de apoyo se procede a colocar el acero de refuerzo dentro de ella, de manera que quede centrada y calzada, para después limpiar el fondo de la perforación, revisando si las paredes de la misma están estables y no presentan derrumbes parciales y si su grado de alteración intemperica es aceptable. De no ser así se tendrá que colocar algún enjarre o aplanado protector de las paredes, e inclusive, el empleo de ademes metálicos. Una vez terminadas las labores anteriores, se coloca el concreto dentro de la perforación. Teniendo cuidado de evitar la segregación de los materiales pétreos del concreto. Para evitarlo existen diferentes métodos para la colocación del concreto, por ejemplo, cuando la perforación está totalmente libre de agua y su sección transversal lo permite, el colado se puede realizar por medio de recipientes especiales que descargan en el fondo y las cuales se movilizan con ayuda de malacates o bien con grúas. También se pueden usar tuberías de conos segmentadas, llamadas comúnmente "trompas de elefante", o bien bombas para concreto. Cuando las dimensiones transversales son mayores de 2.4m es posible emplear canaletas en espiral. El concreto deberá colocarse en una sola operación continua.

Bajo agua o lodo. Cuando el concreto debe colocarse bajo el agua o bajo lodo bentonítico, se acostumbra emplear una o varias tuberías estancas (tremie), de acuerdo con las dimensiones de la pila y cuyo diámetro interno sea por lo menos doce veces mayor que el tamaño máximo del agregado grueso del concreto. Para facilitar su manejo puede estar integrada por varios tramos de 3.00m de longitud como máximo, fácilmente desmontables, por lo que se recomienda que tengan cuerdas de listón o trapezoidales. Es necesario que la tubería sea perfectamente lisa por dentro, para lograr un flujo continuo y uniforme durante el colado y para evitar atoramientos de la tubería con el armado. Arriba de la tubería se acopla una tolva para recibir el concreto, de preferencia de forma cónica y con un ángulo comprendido entre 45° y 60°.

El empleo del tubo tremie busca colocar el concreto a partir del fondo de la perforación dejando permanentemente embebido el extremo inferior de la misma; Así, al avanzar el colado, tiene lugar un desplazamiento continuo del lodo (o agua) manteniendo una sola superficie de contacto (la del primer volumen de concreto colado). Este desplazamiento de lodo se efectúa gracias a la diferencia de densidades entre el concreto fluido (2.0ton/m^3) y el lodo (de 1.04 a 1.15ton/m^3).

Una vez instalada la tubería y antes de empezar el colado, es necesario colocar en su extremo superior un tapón o vejiga deslizante (diablo) que puede ser

una cámara de balón inflada, una esfera de polipropileno; cuya función principal será evitar el deslavado del concreto al iniciar el colado, ya que después el mismo concreto en el interior de la tubería se encarga de sellar la entrada de agua o lodo.

Al iniciar el colado, el extremo inferior de la tubería debe estar ligeramente arriba del fondo de la perforación (no más de un diámetro de la tubería), para que permita la salida del tapón y del primer volumen de concreto. El extremo inferior de la tubería debe permanecer siempre embebido en el concreto fresco, para lo cual es indispensable llevar un registro continuo de los niveles reales de concreto alcanzados durante su colocación, para que en el momento que se juzgue conveniente, se puedan retirar tramos de la tubería sin el riesgo de que esta quede fuera del concreto.

También en el colado se puede utilizar equipo de bombeo para concreto, en tal caso es importante asegurar una granulometría de agregados que evite la segregación.

Hincado de pilotes.

En algunos tipos de suelo (predominantemente friccionantes), es necesario recurrir a equipos que combinan la percusión con la vibración. Como los martillos vibratorios (descritos anteriormente) que sirven para hincar pilotes, extraer perfiles de ademes o tubos hincados en el subsuelo. Cuando se trata de pilotes de concreto reforzado o presforzados el proceso constructivo comienza desde la fabricación de los pilotes, que se inicia con la preparación de las camas de colado, que son plataformas de concreto de 5 a 10cm de espesor, coladas sobre una base de material compactado, después se preparan los moldes que generalmente son de madera o metálicos, cuando se trata de pilotes de concreto presforzado el molde debe ser metálico, se coloca el acero de refuerzo o presfuerzo según sea el caso, para después vaciar el concreto, lo cual se puede lograr mediante bombas, a tiro directo, mediante canalones u otros métodos.

En algunas ocasiones es necesario hincar varios tramos de pilotes, para lo cual se han diseñado varios tipos de juntas de unión que van desde la soldadura a tope de dos placas previamente fijadas a los tramos del pilote. Para retirar los pilotes de las camas de colado y transportarlos al lugar donde se hincaran; se preparan ciertos puntos a lo largo del pilote, estructuralmente apropiados para esas maniobras, los puntos de izaje están constituidos por orejas de varilla, cable de acero o placa, que se fijan previamente al acero de refuerzo y quedan ahogadas en el concreto, a los pilotes deben adaptárseles puntas para facilitar su hincado, aun los pilotes de acero de cualquier sección.

Una vez listos los pilotes se procede a realizar lo que propiamente sería el hincado, para lo cual, se requiere de una grúa, una guía, y un martillo. Las guías se integran a la pluma de las grúas y sirven para mantener la alineación del sistema martillo-pilote, para que los golpes sean concéntricos, el dispositivo se dispara y el pilote, en algunas ocasiones es necesario efectuar perforaciones previas al hincado de pilotes, esto no es necesario cuando se trata de pilotes de acero, otro procedimiento que facilita el hincado es el uso de chiflón de agua (o una mezcla con aire, bentonita o cemento) para ayudar a la penetración del pilote dentro de un estrato de arena compacta o grava arenosa.

La secuencia de hincado es la siguiente: Se colocan marcas a cada 1.0 a lo largo de toda la longitud del pilote, esto para determinar de una manera más fácil el número de golpes necesarios para hincar un metro de pilote. Colocar el pilote en el lugar donde finalmente quedara ubicado el pilote, si se requiere se orientaran las caras de los pilotes. acoplar la cabeza del pilote al golpeador del martillo, colocación en posición vertical o en el ángulo requerido en caso que se trate de pilotes inclinados y finalmente se acciona el disparador del martillo, con lo cual se inicia el hincado del pilote, ver figura 2.4.15

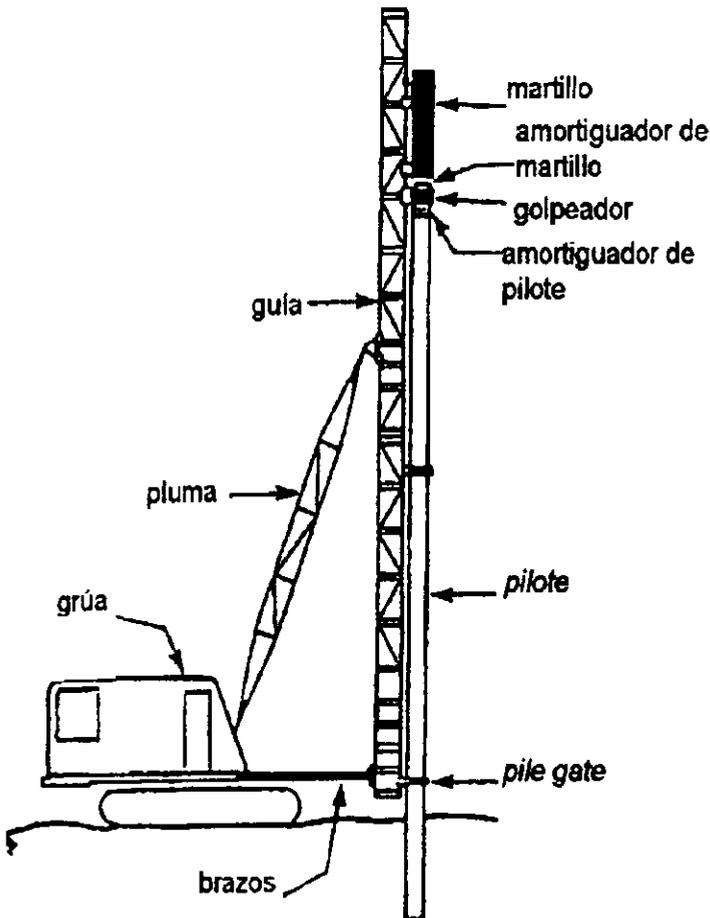


FIGURA 2.4.15

III. CONTROL DE CALIDAD Y CERTIFICACIÓN ISO 9000 EN LA CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES PROFUNDAS.

III.1 CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.

Todos los materiales empleados en la construcción de pilas o pilotes deben garantizar ciertas características mínimas de calidad, para garantizarlo se requiere del uso de normas entendiéndose por tal, como un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido que establece para uso común y repetido, reglas directrices o características para ciertas actividades o sus resultados, con el fin de conseguir un grado óptimo de orden en un contexto dado, existen numerosos tipos de normas como las NOM (Norma Oficial Mexicana), NMX u otras basadas en normas extranjeras como las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) o ACI (American Concrete Institute) entre otras.

Para asegurar la calidad de los materiales es necesario contar con un laboratorio de pruebas dentro de la obra o en su defecto, contar con uno donde se puedan mandar especímenes o muestras de materiales que se utilizarán durante los procesos de construcción de pilas y pilotes, estos laboratorios serán los encargados de determinar las características físicas y mecánicas de los materiales y verificar que estos cumplan con los requisitos mínimos de calidad necesarios para la aceptación de materiales.

A continuación se describen algunas de las características de los materiales que son utilizados con mayor frecuencia.

ACERO DE REFUERZO.

El acero de refuerzo debe cumplir con ciertas características físicas como son: las dimensiones, masa unitaria y requisitos mecánicos: como el doblado y resistencia a la tensión. Las varillas suelen clasificarse conforme al límite de fluencia: grado 30 cuyo límite de fluencia es de 3000Kg/cm^2 ; grado 42 donde su límite de fluencia es 4200Kg/cm^2 y grado 52 con límite de fluencia de 5200Kg/cm^2 . El diámetro nominal de una varilla corrugada corresponde al diámetro de una varilla lisa que contenga la misma masa nominal que una varilla corrugada; se designará a las varillas de acuerdo al número de octavos de pulgada de su diámetro nominal.

Las principales características que se deben tomar en cuenta son las siguientes: dimensiones, masa unitaria y requisitos mecánicos. Las cuáles, se describen enseguida.

Dimensiones.

El número de designación, masas, dimensiones nominales y requisitos de corrugación con que debe cumplir el acero de refuerzo se presentan en la tabla 3.1.1

CONTROL DE CALIDAD Y CERTIFICACIÓN ISO 9000 EN LA CONSTRUCCIÓN DE
CIMENTACIONES PROFUNDAS

TABLA 3.1.1

NUMERO DE DESIGNACION	MASA NOMINAL	DIMENSIONES NOMINALES			REQUISITOS DE CORRUGACION		
		DIÁMETRO	AREA DSECCION TRANSVERSAL	PERÍMETRO	ESPACIAMIENTO MÁXIMO PROMEDIO	ALTURA MINIMA PROMEDIO	CUERDA MÁXIMA
		MM	MM ²	MM	MM	MM	MM
2.5	0.384	7.9	49	24.8	5.6	0.3	3.0
3	0.560	9.5	71	29.8	6.7	0.4	3.6
4	0.994	12.7	127	39.9	8.9	0.5	4.9
5	1.552	15.9	198	50.0	11.1	0.7	6.1
6	2.235	19.0	285	60.0	13.3	1.0	7.3
7	3.042	22.2	388	69.7	15.5	1.1	8.5
8	3.973	25.4	807	79.8	17.8	1.3	9.7
9	5.033	28.6	642	89.8	20.0	1.4	10.9
10	6.225	31.8	794	99.9	22.3	1.6	12.2
11	7.503	34.9	957	109.8	24.4	1.7	13.4
12	8.938	38.1	1140	119.7	26.7	1.9	14.6
14	12.147	44.5	1552	139.6	31.2	2.2	17.5
16	15.890	50.8	2026	159.6	35.7	2.4	20.0
18	20.076	57.2	2565	179.5	40.0	2.6	22.5

Las corrugaciones de las varillas deben cumplir con las siguientes características: en cuanto a su distribución estarán colocados de manera que formen un ángulo no menor de 45° con respecto al eje de la varilla, Las corrugaciones deben estar distribuidas uniformemente en ambas caras de la varilla, Con respecto al espaciamiento y costilla, deberá cumplir con lo especificado en la tabla 3.1.1 para cada designación de varillas.

La longitud total de las corrugaciones debe ser tal que la separación entre los extremos de las mismas, sobre lados expuestos de la varilla, no sean mayor de 12.5% de su perímetro nominal. Cuando los extremos de las corrugaciones terminen en una costilla longitudinal, el ancho de las costillas deben considerarse como tal separación. La suma total de los extremos de las corrugaciones no debe exceder de 25% del perímetro nominal.

Cuando existan más de dos costillas longitudinales, el ancho total de todas no debe exceder del 25% del perímetro nominal de la varilla, el cual se indica en la tabla 1.

Para determinar que el acero de refuerzo cumple con las características de las dimensiones señaladas anteriormente se realizaran los siguientes métodos de prueba.

Se tomará un espécimen de 0.50m de longitud como mínimo, para realizarse las siguientes determinaciones:

- Diámetro a partir del área.
- Área de la sección transversal, a partir de la masa unitaria y peso volumétrico del acero.
- Perímetro calculado a partir del área.
- Espaciamiento máximo promedio entre corrugaciones.
- Separación máxima entre corrugaciones.

• **Ángulo de corrugación.**

Para lo cual será necesario contar con un flexómetro con división de 1mm, vernier con división a escala de 0.1mm, báscula con división mínima de 1 gramo y transportador o goniómetro con división mínima de 1°.

El espaciamiento medio de las corrugaciones se obtiene dividiendo la distancia centro a centro entre dos corrugaciones, medida sobre el eje longitudinal de la varilla, entre el número de espacios comprendida en dicha longitud. El número de espacios será igual ó mayor que 5.

La medición de los espaciamientos debe efectuarse sobre una zona de las varillas que no incluya marcas, símbolos, letras o números.

En caso de costillas corrugadas en dos direcciones en la misma cara, la longitud media debe dividirse entre el doble del número de espacios.

La altura de corrugación se determinará a partir de mediciones realizadas en no menos de una corrugación de cara; las determinaciones se basarán en tres mediciones por corrugación, una al centro y las otros dos, en puntos a la cuarta parte de la longitud total.

Para medir la separación de las corrugaciones se hará por medio del vernier. El ángulo de corrugación se medirá con un transportador o goniómetro.

Masa unitaria.

Debe satisfacer los valores establecidos en la tabla 3.1.1, con las tolerancias que se indican en la tabla 3.1.2

TABLA 3.1.2

NUMERO DE DESIGNACIÓN	PORCIENTO DE VARIACIÓN EN EL LOTE	PORCIENTO EN VARILLAS INDIVIDUALES.
Todos	± 3.5	± 6

Estas especificaciones se verificarán de acuerdo con el método de prueba que debe seguirse para determinar el peso por metro y el área de la sección transversal de las varillas lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Para lo cual, es necesario contar con una balanza con mínima capacidad de 10Kg y sensibilidad de cuando menos 1g, y permite pesar tramos de varilla 0.5 a 1.0 de longitud, y un flexómetro con divisiones de 1.0mm como mínimo y 2m de longitud.

El espécimen de prueba se tomará de cualquier tramo que sea sensiblemente recto y que por su aspecto sea representativo del material que se probara. Los especímenes serán de 0.5 a 1.0m de longitud, los cortes en los extremos deben ser perpendiculares al eje longitudinal de la varilla:

Se coloca el espécimen en la balanza y se registra su peso en gramos. El peso unitario de las varillas se calcula de la siguiente manera.

Peso en Kg/m de la varilla = peso del espécimen de prueba en gramos / longitud promedio del espécimen en mm.

El área transversal de la varilla en cm² / Peso de la varilla en Kg/m / 0.784.

Requisitos Mecánicos.

El acero de refuerzo debe cumplir con ciertos requisitos mecánicos como son: requisitos de tensión y requisitos de doblado. Los requisitos de tensión se obtienen a partir de una prueba de tensión, esta consiste en aplicar una carga axial de tensión con la ayuda de una máquina universal de ensayos físicos a un espécimen de varilla de 200mm de longitud, con lo cual, se determina la resistencia mínima a la tensión, límite de fluencia mínimo y alargamiento mediante la gráfica esfuerzo-deformación unitaria. Las especificaciones mínimas que se deben cumplir con esta prueba se presenta en la tabla 3.1.3 .

TABLA 3.1.3

GRADO	RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN N/mm ² (Kg/mm ²)	LÍMITE DE FLUENCIA MÍNIMO N/mm ² (Kg/mm ²)	ALARGAMIENTO MÍNIMO EN 200mm. POR DESIGNACIÓN								
			%								
			2, 5, 3	4, 5, 6	7	8	9	10	11, 12	14, 16, 18	
30	490 (50)	294 (30)	11	11							
42	618 (63)	412 (42)	9	9	8	8	7	7	7	7	
52	706 (72)	510 (52)							6	6	

Además de los requisitos de tensión especificados, la relación entre la resistencia a la tensión y el esfuerzo de fluencia determinados, no debe ser menor de 1.25.

Otra de las propiedades mecánicas que se debe revisar es el doblado. Que consiste en someter una probeta recta, a una deformación plástica por doblado, sin invertir el sentido de la flexión durante la prueba. El doblado debe realizarse hasta que uno de los extremos de la probeta forme con el otro extremo un ángulo α especificado. Los ejes de los extremos de la probeta deben permanecer en plano perpendicular al eje de doblado.

La máquina de prueba más usualmente empleada consiste básicamente, en dos apoyos cilíndricos giratorios, de separación regulable y un mandril central cambiante que ejerza una presión sobre la probeta mediante su desplazamiento vertical. Los apoyos deben ser más largos y el mandril mas ancho que el diámetro o ancho de la probeta. La carga debe aplicarse en forma lenta y gradual.

Las probetas de varillas del # 2.5 al 12 deben doblarse alrededor de un mandril a 180° y del número 14 al 18 en un mandril a 90°, sin agrietarse en la parte exterior de la zona doblada. Los diámetros de mandril para la prueba de doblado se especifica en la tabla 3.1.4

TABLA 3.1.4

NUMERO DE DESIGNACIÓN	DIÁMETRO DEL MANDRIL PARA PRUEBA DE DOBLADO		
	GRADO 30	GRADO 42	GRADO 52
2,5	-----	3.5D	-----
3, 4, 5	3.5D	3.5D	-----
6	5D	5D	5D
7, 8	-----	5D	5D
9, 10	-----	7D	7D
11	-----	-----	8D
12	-----	8D	8D
14, 16 Y 18	-----	9D	9D

D ES EL DIÁMETRO NOMINAL DE LA PROBETA

Se tomará una muestra de cada diámetro por cada 10 ton o fracción o por cada embarque o entrega, lo que resulte menor.

ACERO DE PRESFUERZO.

A continuación se establecen los requisitos que deben cumplir los dos grados de torones de siete alambres sin recubrimiento relevados de esfuerzos de acero, para usarse en la elaboración de concreto presforzado. Los dos grados que se manejan, tienen una resistencia última a la ruptura, mínima de 1725N/mm² (176Kgf/mm²) y 1860N/mm² (190Kgf/mm²) basado en el área nominal del toron.

Se entiende por toron cualquier tramo de material que este formado por seis alambres colocados en forma helicoidal sobre un alambre central, con paso uniforme no menor de 12 ni mayor de 16 veces el diámetro nominal del toron.

Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas con que debe cumplir el acero de preesfuerzo son: Resistencia a la ruptura, resistencia de fluencia y alargamiento. Las cuales se presentan en la tabla 3.1.5

Las propiedades mecánicas del acero de preesfuerzo se determina por el método de deformación bajo carga, la resistencia a la ruptura se determina hasta que el elemento falle. La resistencia de fluencia se considera una deformación del 1.0%, y no debe ser menor del 85% de la resistencia de ruptura especificada. Para determinar la deformación unitaria, se fija un extensómetro ajustando a una lectura de 0.001cm por cada longitud calibrada. Se incrementa la carga hasta que el extensómetro indique una deformación unitaria de 1%. El alargamiento se obtiene por el incremento de la distancia entre las mordazas, el cual debe sumarse al valor de 1%, determinado con el extensometro.

Dimensiones y tolerancias.

El diámetro del toron debe expresarse en mm, además el diámetro del alambre central debe ser mayor que el diámetro de cualquier alambre exterior, como se indica en la tabla 3.1.6.

CONTROL DE CALIDAD Y CERTIFICACIÓN ISO 9000 EN LA CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES PROFUNDAS

TABLA 3.1.5

GRADO	TAMAÑO NOMINAL	DIÁMETRO NOMINAL DEL TORON (mm)	RESISTENCIA A LA RUPTURA MINIMA DEL TORON EN NEWTON (Kgf)	AREA NOMINAL DEL ACERO DEL TORON, EN MM ²	MASA NOMINAL APROXIMADA DEL TORON Kg/1000m.	RESISTENCIA A LA FLUENCIA, NEWTON (Kgf)	CARGA MINIMA PARA ALARGAMIENTO DE 1%, EN NEWTON (Kgf)
176	1/4	6.35	40000 (4080)	23.22	182	4000 (410)	34000 (3470)
	5/16	7.94	64500 (6580)	37.42	294	6500 (660)	54700 (5580)
	3/8	9.53	89000 (9070)	51.61	405	8900 (910)	75600 (7710)
	7/16	11.11	120100 (12250)	69.68	548	12000 (1220)	102300 (10430)
	1/2	12.70	160100 (16330)	92.90	730	16000 (1630)	136200 (13880)
	0.600	15.24	240200 (24500)	139.35	1094	24000 (2450)	204200 (20820)
190	3/8	9.53	102300 (10430)	54.84	432	10200 (1040)	87000 (8870)
	7/16	11.11	137900 (10430)	74.19	582	13800 (1410)	117200 (11950)
	1/2	12.70	183700 (18730)	98.71	775	18400 (1870)	156100 (15920)
	0.600	15.24	260700 (25580)	140.00	1102	26100 (2660)	221500 (22590)

TABLA 3.1.6

GRADO	TAMAÑO NOMINAL	DIÁMETRO NOMINAL EN mm	DIFERENCIA MINIMA ENTRE EL DIÁMETRO DEL ALAMBRE Y EL DE CUALQUIER ALAMBRE EXTERIOR EN mm
176	¼	6.35	0.025
	5/16	7.94	0.038
	3/8	9.53	0.051
	7/16	11.11	0.063
	½	12.70	0.076
	0.600	15.24	0.102
190	3/8	9.53	0.051
	7/16	11.11	0.063
	½	12.70	0.076
	0.6000	15.24	0.102

La tolerancia en el diámetro nominal para torones de grado 176 es de $\pm 0.40\text{mm}$ y para el grado 190 de $\pm 0.66, -15\text{mm}$, medido en la corona de los alambres.

Para el muestreo se tomará una muestra de cada diámetro por cada tonelada de alambre o fracción, por cada embarque o entrega, lo que sea menor.

SOLDADURA.

Cuando el acero de refuerzo sea mayor de 1" (número 8) o mayor, no se permitirá traslaparse sino que debe soldarse a tope o unirse mediante algún dispositivo de roscado. Una unión a tope directo se define como la unión entre dos varillas cuyos ejes son aproximadamente bolinéales.

El requisito más importante que debe cumplir la soldadura, es que los esfuerzos permisibles a tensión y a compresión de la soldadura deben ser los mismos que la del metal a soldarse.

No debe soldarse cuando las superficies estan húmedas, expuestas a la lluvia, nieve, si existen altas velocidades del viento o cuando los soldadores estén expuestos a condiciones inclementes. Debe considerarse la capacidad de la persona que aplicará la soldadura, por lo que se debe calificar la posición y tipo de soldadura.

Para determinar la calidad de la soldadura en la unión a tope directo, se cuenta con dos tipos de pruebas: pruebas destructivas y pruebas no destructivas, la primera a su vez se divide en dos: prueba de macroataque y prueba de tensión; mientras que la prueba no destructiva es la de radiografías.

La prueba de macroataque se realiza para detectar discontinuidades en la soldadura, el ensamble de prueba debe cortarse mecánicamente, perpendicular a la dirección en que se soldó. La probeta debe mostrar la longitud total de la sección transversal de la junta soldada, la raíz de la soldadura y cualquier refuerzo. Todas las secciones transversales deben pulirse y atacarse con una solución adecuada que proporcione una definición clara de la soldadura.

La prueba de tensión se realiza a probetas de longitud igual a 8 veces el diámetro de la varilla como mínimo, la probeta debe romperse bajo carga de tensión y determinar la carga máxima en N (Kg.) La resistencia a la tensión en N/mm^2 (Kg/mm^2) debe obtenerse dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal nominal de la varilla.

Tomar radiografías de una sección soldada como ya se mencionó anteriormente constituye una prueba no destructiva. En uniones a tope directas inspeccionadas con este método, la máxima dimensión de cualquier porosidad individual, discontinuidad del tipo de fusión, la suma de las dimensiones máximas de toda la porosidad o discontinuidades del tipo fusión, no debe exceder los límites indicados en la tabla 3.1.7

TABLA 3.1.7

NUMERO DE VARILLA	SUMATORIA DE LAS DISCONTINUIDADES	DISCONTINUIDAD INDIVIDUAL
8	5	3
9	5	3
10	6	3
11	6	5
14	8	5
18	11	6

CONCRETO PREMEZCLADO.

En la mayoría de las obras de este tipo el concreto es premezclado en una planta y transportado al sitio por medio de camiones mezcladores y/o agitadores. El proporcionamiento del concreto debe realizarse de acuerdo a las características necesarias para cada tipo de obra en particular.

Se entiende por concreto premezclado, al concreto hidráulico dosificado y mezclado en una planta, el cual, se entrega en la obra en estado plástico.

Una vez en la obra deben tomarse muestras del concreto fresco para poder determinar en la obra y en el laboratorio las propiedades de este para verificación de la calidad y de las especificaciones con que debe de cumplir. Como son: resistencia a la compresión, revenimiento, tamaño máximo del agregado y contenido de aire.

Muestreo.

La muestra se toma en tres o mas intervalos, interceptando todo el flujo de la descarga, teniendo la precaución de no tomarla antes del 15% ni después del 85% de la misma. Para lo cual, es necesario contar con equipo, como recipientes con capacidad mínima de 15l que pueden ser cubetas, charolas o carretillas; las cuales deben ser impermeables, limpios y no absorbentes.

El muestreo se hace pasando repetidamente el recipiente en la descarga, interceptándola totalmente cada vez, o desviando el flujo completamente, de tal modo que descargue en el recipiente. La velocidad de descarga debe controlarse con el número de revoluciones de la olla y no por la mayor o la menor abertura de la compuerta.

La muestra debe transportarse sin pérdida de material al lugar donde se efectuarán las pruebas y debe remezclarse para asegurar su uniformidad. El intervalo de tiempo entre la obtención de la primera y última porción de una muestra no debe ser mayor de 15min. Después de obtener la muestra no pasarán mas de 15min para usarla, con excepción de la prueba de revenimiento o de aire incluido que deben iniciarse a los 5min, después de que haya terminado el muestreo. Durante este tiempo la muestra debe protegerse de los rayos solares, el viento y otros factores que causen rápida evaporación o contaminación de la muestra.

Revenimiento.

El revenimiento es una medida de la consistencia del concreto fresco en términos de la disminución de altura. Esta prueba no es aplicable en concreto con tamaño máximo de agregado mayor de 50mm.

La prueba consiste en ir llenando un recipiente en tres intervalos, en cada uno de estos intervalos debe compactarse el concreto con una varilla punta de bala, al terminar la última capa se enrasa el molde e inmediatamente después se retira el molde en dirección vertical, se mide la distancia que hay entre el nivel original de la base superior del cono y del nivel de la parte superior del concreto que queda después de retirar el molde, a esa distancia se le conoce como revenimiento, el cual, debe medirse con una aproximación de 1cm. En la tabla 3.1.8 se presenta las tolerancias del revenimiento.

TABLA 3.1.8

REVENIMIENTO ESPECIFICADO EN CM	TOLERANCIA EN CM
< 5	± 1.5
6 - 10	± 2.5
>10	± 3.5

Si después de realizarse esta prueba, no cumple con los requisitos establecidos, se realizará una segunda prueba la que determinará la aceptación o rechazo del concreto. Una vez aceptado el concreto, se realizará el informe correspondiente de la prueba de revenimiento, el cual debe contener lo siguiente: Revenimiento obtenido en cm, revenimiento de proyecto, tamaño máximo de agregado e identificación del concreto.

Tamaño máximo de agregado.

El concreto de la muestra obtenida, debe pasar por las cribas indicadas en la tabla 3.1.9 y no debe retenerse más del 5% en masa del concreto en la criba que se fije como tamaño máximo nominal del agregado del concreto.

TABLA 3.1.9

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO EN MM	ABERTURA NOMINAL DE LA CRIBA EN MM
50	75
40	50
25	40
20	25
13	20
10	15

Resistencia a la compresión.

Esta prueba determina la resistencia nominal a la compresión del concreto inferior a 500Kg/cm², en especímenes cilíndricos moldeados con relación altura-diámetro de 2:1, las dimensiones del diámetro y la altura del espécimen de prueba debe determinarse con una aproximación de 1mm, Antes del ensaye, la base de

los especímenes donde se aplicará la carga, no se debe apartar de la perpendicular al eje en más de 0.5°, aproximadamente 3mm en 300mm y no se permitirán irregularidades respecto a un plano que exceda de 0.05mm, en caso contrario deberán ser cabeceados para cumplir con los requisitos mencionados.

El espécimen se coloca en una maquina universal de ensayos físicos. se aplicarán cargas de compresión hasta alcanzar la máxima registrada, aplicándole la carga a una velocidad que debe ser uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga, hasta la falla, cuando sea necesario se llevará hasta la ruptura, para observar el tipo de falla y apariencia del concreto.

Las pruebas se harán cuando los especímenes hayan cumplido 14 ó 28 días de edad, con las tolerancias de aceptación ó rechazo de especímenes que se indican en la tabla 3.1.10

TABLA 3.1.10

EDAD DE PRUEBA	TOLERANCIA PERMISIBLE
14	± 12H
28	± 24H

Después de la realización de las pruebas deberá realizarse un informe que contenga: clave de identificación del espécimen, edad nominal del espécimen, diámetro y altura en centímetros, con aproximación al milímetro, área de la sección transversal en centímetros cuadrados con aproximación al décimo, masa del espécimen en kilogramos, Carga máxima en N(Kg.), resistencia a la compresión, calculada con aproximación a 100kPa(1kg/cm²), descripción de la falla y defectos observados en el espécimen o en sus cabezales.

Aire incluido.

El intervalo del contenido total de aire en el concreto debe fijarse por el proyectista, de acuerdo con las condiciones particulares de cada obra y en función de la precisión de la prueba. Deben realizarse pruebas para determinar el contenido de aire tanto preliminar, como de rutina, con el propósito de controlar durante la construcción, por lo menos en aquellas muestras en que se obtengan cilindros de concreto.

Para mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo, según el tamaño máximo nominal de agregado, se recomiendan los porcentajes de contenido de aire total indicado en la tabla 3.1.9. Los contenidos de aire menores a los indicados en la tabla 3.1.11 no mejoran la resistencia al congelamiento y deshielo. Contenidos mayores pueden reducir la resistencia a la compresión sin lograr una protección adicional.

Volumen.

La base de la medición del concreto debe ser el metro cúbico de concreto fresco, tal como se descarga en la obra, la carga establecida debe determinarse a partir de la masa total de materiales de la mezcla, dividido entre la masa del concreto mismo, esta puede calcularse como la suma de las masas de los materiales, incluyendo el agua de toda la mezcla o como la masa neta. Debe ser el promedio de tres determinaciones por lo menos, cada una efectuada en una

CONTROL DE CALIDAD Y CERTIFICACIÓN ISO 9000 EN LA CONSTRUCCIÓN DE
CIMENTACIONES PROFUNDAS

muestra obtenida de diferentes entregas con el mismo equipo y operador, El volumen suministrado como se indico, puede ser aceptado con una tolerancia de $\pm 1\%$ en relación con la nota de pedido.

En la tabla 1.3.12 se resumen los requisitos de uniformidad de mezclado del concreto

TABLA 3.1.11

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO (mm)	CANTIDAD DE AIRE RECOMENDADO (%)
50	4
40	4.5
25	5
20	6
13	7
10	8

TABLA 3.1.12

PRUEBA	DIFERENCIA MÁXIMA PERMISIBLE ENTRE RESULTADOS DE PRUEBA CON MUESTRAS OBTENIDAS DE DOS PORCIONES DIFERENTES DE LA DESCARGA *
MASA VOLUMÉTRICA EN kg/m^3	15
CONTENIDO DE AIRE EN % DEL VOLUMEN DEL CONCRETO	1
REVENIMIENTO:	
SI EL REVENIMIENTO PROMEDIO ES MENOR QUE 6CM	1.5
SI EL REVENIMIENTO PROMEDIO ESTA COMPRENDIDO ENTRE 6 Y 12CM	2.5
SI EL REVENIMIENTO PROMEDIO ES MAYOR QUE 12	3.5
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO RETENIDO EN LA CRIBA G 4.75 EXPRESADO EN % DE LA MASA DE LA MUESTRA	6
PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 7 DIAS DE EDAD DE CADA MUESTRA EXPRESADA EN % **	10

*Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla deben obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga (principio, del 10 al 15%. Final, del 85 al 90% del volumen)

** La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada antes de obtener los resultados de la prueba de resistencia

LODOS DE PERFORACIÓN.

Objetivo de los lodos de perforación.

El objetivo de los lodos de perforación es de estabilizar las paredes de la perforación, zanja o excavación. Enfriar la herramienta de perforación y arrastrar, mediante circulación continua, los recortes hacia la superficie. Estos lodos son fluidos viscosos que pueden ser formados naturalmente o preparados ex-profeso.

Se ha encontrado que algunas arcillas (montmorilonita sodica), al ser mezclada mecánicamente durante la perforación con las aguas freáticas, formaban fluidos de alta viscosidad y densidad, que detenían las paredes del subsuelo por su alto empuje generando en ellas y por una capa de arcilla que se adhería a ellas (enjarre).

A partir de este descubrimiento, se iniciaron investigaciones para determinar las propiedades de otro tipo de arcillas y así determinar proporcionamientos más efectivos, económicos y que además pudieran ser reutilizados, las arcillas mas empleadas en lodos de perforación son las arcillas sodicas y calcicas.

Actualmente, se ha avanzado mucho en la investigación y utilización de fluidos estabilizadores del subsuelo bajo el manto freático, llegándose a mezclas de aceite con polímeros, de bentonitas con cemento (lodos fraguantes) o arcillas atapulgitas (en aguas de alta concentración salina).

El alto costo de la bentonita y de su transporte ha producido el desarrollo de nuevos tipos de materiales. Estos consisten en polímeros orgánicos de cadena larga y en sales de silicatos inorgánicos, sus principales ventajas son las siguientes.

- Son más fáciles de preparar y controlar.
- Se requiere únicamente del 10 al 20% del volumen de bentonita que generalmente se utilizaria en tal caso.
- Tiene un mayor rendimiento por su mayor número de reusos.
- Se puede utilizar con agua salada o de mar, sin perder sus propiedades coloidales.

Propiedades de los lodos de perforación.

A continuación se presentan las propiedades físico-químicas primordiales de un lodo bentonítico: densidad, viscosidad plástica, viscosidad Marsh, filtrado, contenido de arena, concentración o potencial de hidrógeno (pH), añejamiento.

Densidad. Denominada también peso específico, es la cantidad de materia por unidad de volumen. Para determinarla se emplea una balanza de lodos. Se llena con lodo el recipiente de la balanza, figura 3.1.1 el cual tiene un orificio en la tapa que permite la salida del excedente con el fin de garantizar un volumen constante. Con el contrapeso se nivela la balanza, obteniéndose una lectura directa en escala, en g/cm^3 o en t/m^3 . La densidad de un lodo bentonítico común varía entre 1.02 y 1.04 g/cm^3 .

Viscosidad plástica. Es determinada mediante la utilización de viscosímetros rotacionales, figura 3.1.2 con los que se mide la resistencia al esfuerzo cortante a diferentes revoluciones por minuto, la viscosidad plástica debe ser pequeña, para permitir la separación de las arenas que el lodo acarrea al salir de la perforación. El

punto de cadencia, define además la penetración del lodo en la vecindad de la perforación o zanja; al aumentar se reduce la penetración. Es conveniente mantener en el lodo la viscosidad plástica en un rango comprendida entre 10 y 25 centipoises. Siendo un poise el equivalente a 1g/cms También en estos aparatos se puede determinar la viscosidad aparente, la resistencia del gel, la tixotropía y especialmente, el punto de cadencia el cual, es la ordenada al origen de la curva de flujo y correspondiente al valor mínimo del esfuerzo cortante para el cual empieza a fluir el lodo.

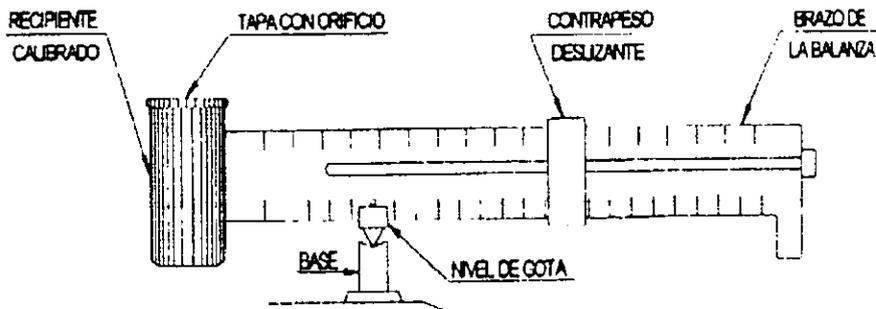


FIGURA 3.1. 1

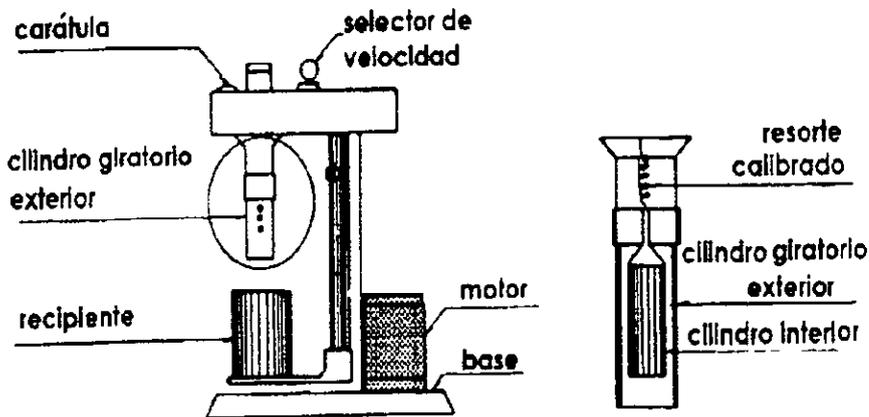


FIGURA 3.1. 2

Viscosidad Marsh. Se define como el tiempo en segundos del escurrimiento de lodo con volumen de 946cm^3 equivalentes a un cuarto de galón, que pasa a través de un orificio calibrado ubicado en el extremo inferior del cono Marsh. Este ensaye debe realizarse en obra, para determinar si un lodo puede ser reutilizado o es necesario emplear nuevo lodo. El rango tiempo debe estar entre los 35 y 60 segundos, prefiriéndose los valores bajos para su mayor trabajabilidad.

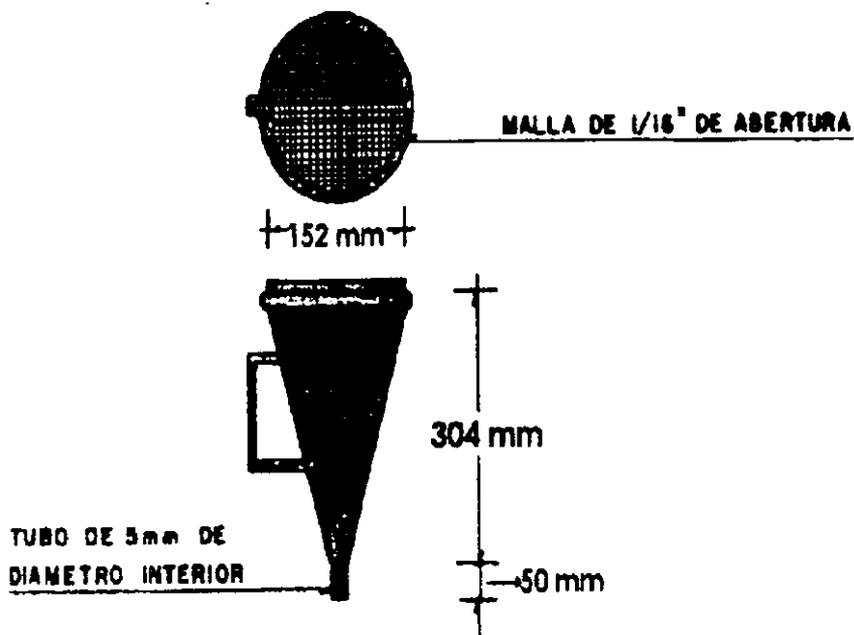


FIGURA 3.1.3

Filtración. Este ensaye permite determinar la capacidad que tiene para formar una película impermeable o también conocida como enjarre o costra en las paredes de las perforaciones. Para efectuar esta prueba es necesario un filtro prensa, en el cual, se calcula el agua libre (cm^3) y el espesor del enjarre (mm). El filtro prensa esta constituido por un recipiente metálico de 500cm^3 de capacidad, capaz de recibir una presión de gas (aire) a $75\text{kg}/\text{cm}^2$ y recoger en la parte inferior el agua filtrada, expulsada a través de un papel filtro y un orificio, después de 30min. Al final de la prueba se mide el volumen de agua filtrada y el espesor de la costra que quedo pegada en el papel filtro. Un buen lodo tiene menos de 20cm^3 de agua filtrada y una costra no mayor de 0.5cm.

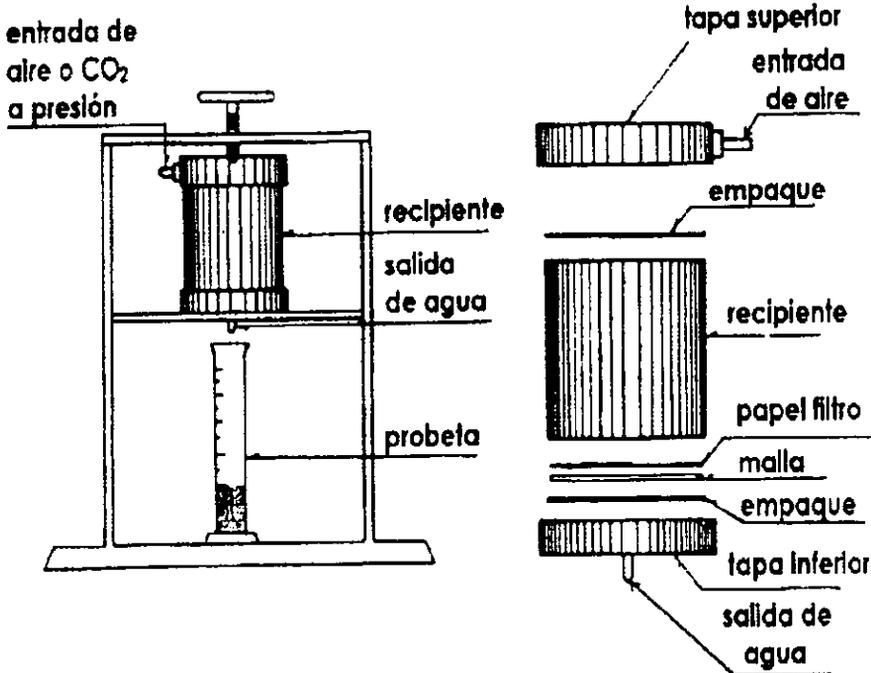


FIGURA 3.1. 4

Contenido de arena. Es la cantidad de arena contenida en un lodo. El contenido de arena debe vigilarse, muy especialmente, antes de iniciar un colado, para su determinación se pasa cierta cantidad de lodo por la malla N°200 y la arena retenida se expresa en porcentaje con respecto al volumen de lodo. el cual no debe ser mayor al 3% del volumen de lodo utilizado. Esta prueba es muy necesaria ya que al incrementar la cantidad de arena daña los equipos, herramientas y tuberías; se incrementa el agua de filtrado y espesor de la costra.

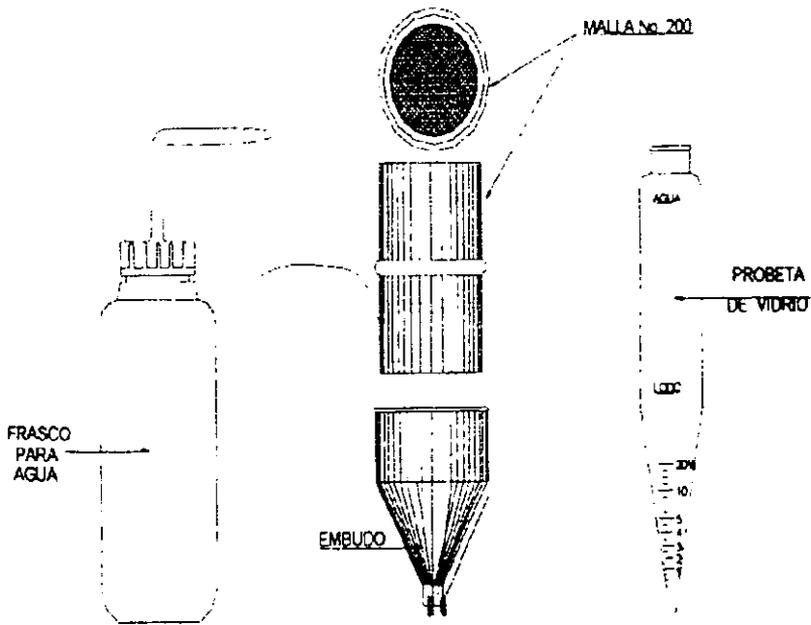


FIGURA 3.1. 5

Potencial Hidrógeno (pH) Representa el grado de acidez o alcalinidad de un lodo. Se determina mediante un papel sensible y el color producido, indica el potencial de hidrógeno. Las propiedades de un lodo varían en función del pH medido. Es conveniente que se encuentre en un rango de 7 a 10.

Añejamiento. Se define como el tiempo transcurrido entre la preparación y la utilización de un lodo. Se ha comprobado que al mantener en añejamiento los lodos de perforación estos aumentan la viscosidad plástica y el punto de cedencia, mientras que el agua libre disminuye, sin variar el espesor del enjarre, se recomienda un añejamiento mínimo de 24hr, pero como cada tipo de bentonita responde diferente, el añejamiento puede variar entre 8 y 24 horas y en algunos casos es necesario que la bentonita se termine de hidratar dentro de la perforación, cuando se trata de obturar flujos o fugas.

Dosificación y Fabricación de los lodos de perforación.

La dosificación de un lodo depende principalmente del tipo de bentonita empleado, del agua freática y de las características que se deseen de un lodo. Por lo que es necesario realizar muestras con diferentes proporciones y determinarse las propiedades de cada muestra, es muy usual que el peso de la bentonita en relación al agua sea del 5 al 10% cuando esta tiene baja concentración salina.

Un concepto importante que se utiliza en la fabricación de los lodos es el de rendimiento, que para este caso se define como la cantidad de m^3 de lodo, con viscosidad media de 15 centipoises, que puede prepararse con 1 ton de bentonita seca. Este rendimiento se determina experimentalmente, haciendo varias mezclas de bentonita-agua con diferentes proporciones y determinando su viscosidad plástica. Mediante una gráfica que relaciona bentonita-agua vs. densidad, se puede interpolar y así determinar el rendimiento.

El tiempo que la bentonita toma para su hidratación completa depende del método de mezclado. Cuando después del mezclado se determina que la resistencia del gel es de 36 dinas/cm^2 empleando un viscosímetro rotacional, se dice que el mezclado es satisfactorio. Por esto, los lodos mezclados a alta velocidad resultan mejor hidratados y con mayor resistencia al esfuerzo cortante que cuando se usan mezcladores de baja velocidad.

La bentonita tiene la característica de absorber el agua y por consiguiente de formar grumos, por lo que es muy importante que al elaborar el lodo, la mezcla se realice por algún método que impida la formación de grumos, para evitar la formación de grumos es necesario seguir el siguiente procedimiento: la bentonita debe incorporarse gradualmente al equipo de mezclado a través de la descarga de agua, mediante un cono dosificador y, una vez mezclada, recircularla una o dos veces más y luego pasarla a un tanque de almacenamiento para permitirle que continúe su hidratación y expansión.

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD COMO PRODUCTO TERMINADO.

En muchos de los casos cuando existe alguna inconformidad por parte del cliente o se cree que la resistencia de los materiales no son los requeridos, por los resultados arrojados durante los ensayos respectivos de los materiales empleados y el producto se considera como terminado, es común recurrir a métodos para determinar las características de los elementos. Existen dos métodos los directos o también llamados destructivos y los indirectos o no destructivos.

Métodos directos.

Método de extracción de corazones. Se realiza con una broca de diamantes accionada por medio de una perforadora a rotación, este muestreo debe realizarse hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente para evitar la alteración del aglutinante y los agregados, se considera que para obtener corazones sanos el concreto debe tener como mínimo 14 días de edad. Es necesario llevar un registro de perforación para la inspección de una pila para la verificación de la calidad donde se registra: el peso de la herramienta en kg, la velocidad de rotación en rpm, el tiempo en minutos para cada 10 cm de avance, la profundidad a la que es tomada la muestra, la descripción del material y el porcentaje de recuperación. El muestreo se realiza como una prueba a la compresión. Los inconvenientes que presenta este método son: su alto costo, por lo caro de las brocas, no es posible determinar anomalías en toda la sección de la pila por realizarse la perforación al centro de la misma, la resistencia obtenida por lo general es menor que la obtenida en cilindros fabricados durante el colado y el tiempo de ejecución de la pila es considerablemente largo. El muestreo debe realizarse de conformidad con la norma NOM-C-169-1988 y el ensaye de acuerdo con la norma NOM-C-169-198.

Circuito de televisión. Este método se realiza al momento de la perforación, la cual se observa por medio de un circuito de televisión, que permite ver las paredes y el fondo, la desventaja que presenta es que solo puede detectar fallas muy marcadas, como oquedades, dejando dudas en cuanto a la contaminación o segregación del concreto, dudas no muy significativas pero sí importantes para el comportamiento de la pila.

Esclerómetro. Este método también conocido como: martillo de rebote, martillo de impacto, martillo de Schmidt, es indicativo para verificar la uniformidad y calidad relativa del concreto endurecido. Se basa en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie contra la cual la masa golpea, la prueba es sensible a la presencia del agregado y a los vacíos, por lo que es necesario tomar de 10 a 12 lecturas del área a probar. Esta prueba debe de hacerse en conformidad con la norma NOM-C-182-1988.

Resistencia a la penetración. También conocida como prueba de Windsor, estima la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de una varilla de metal dentro del concreto, con una cantidad de energía generada por la una carga de pólvora estándar. El principio es que la penetración es inversamente proporcional a la resistencia del concreto a la compresión, pero esta relación depende de la resistencia de los agregados. Esta prueba debe correlacionarse con la resistencia a la compresión de especímenes estándares o con la de corazones

del mismo concreto. Esta prueba debe de hacerse en conformidad con la norma NOM-C-301-1986.

Prueba de extracción. Consiste en medir la fuerza necesaria para poder extraer una varilla de acero previamente colada en el extremo agrandado y embebido. Debido a su forma el ensamblaje de la varilla de acero se extrae junto con un trozo de concreto con la forma de cono truncado. La resistencia a la extracción se calcula con la relación de la fuerza al área idealizada del cono, y es cercana a la resistencia al corte del concreto. Esta prueba se correlaciona con la resistencia a la compresión de cilindros estándar o con la de corazones, para diferentes condiciones de curado y edad. Esta prueba debe hacerse en conformidad con la norma ASTM C 900-93

Métodos Indirectos.

Prueba ultrasónica de velocidad de pulsación. Consiste en determinar la velocidad de propagación de una onda generada por una vibración y captada mediante un receptor. Conociendo la velocidad se puede determinar el modulo de elasticidad con la siguiente expresión.

$$V=(gE/\gamma)^{0.5} \quad (12)$$

Donde:

- V Es la velocidad de propagación de la onda.
- g Es la aceleración de la gravedad.
- γ Densidad del concreto.

Esta relación se usa para determinar el módulo de elasticidad del concreto si se conoce la relación de Poisson; Esta sería una manera de verificar la calidad del concreto. La desventaja que este método presenta es que si la primera anomalía detectada es de cierta importancia el resto se dificulta a mayor profundidad, o las hace aparecer como fallas menores, la ventaja que presenta es que las determinaciones son rápidas de ejecutar. Esta prueba debe hacerse en conformidad con la norma NOM-C-275-1986.

Método "Cross Hole". Para la realización de este método es necesario que previo al colado, se hayan colocado tubos metálicos a lo largo del elemento de la cantidad dependerá la precisión de los resultados, Al igual que el método anterior, este consiste en la emisión de una vibración que se genera dentro de un tubo lleno de agua. La captación de esta onda se realiza por medio de un receptor colocado al mismo nivel del emisor pero en otro tubo, es recomendable colocar los sensores a una distancia máxima de 1.50m la operación se repite a lo largo del elemento, obteniéndose una gráfica en la cual se aprecia el tiempo de propagación de las

ondas captadas, cada anomalía se caracteriza por una disminución drástica de la amplitud de onda captada y en un incremento del tiempo de recorrido. La ventaja de este método radica en la buena localización de las anomalías tanto en la profundidad como en la sección, se interpretan los resultados de forma inmediata y se obtiene un registro en toda la longitud del elemento. Teniendo como única desventaja la imposibilidad de determinar la calidad del concreto entre la pila y el terreno natural.

Rayos Gamma. Este método se basa en el fenómeno de absorción de un haz de rayos gamma por el material que atraviesa, El sistema de verificación es similar al descrito para ondas sonicas, teniendo la limitación de que la distancia máxima entre emisor y receptor debe ser de 0.8m. Esta prueba debe hacerse en conformidad con la norma ASTM C 1040-93.

III.2 SUPERVISION DURANTE LA CONSTRUCCION DE PILAS Y PILOTES

Durante La construcción de las cimentaciones profundas la supervisión de los procesos forma un papel importante, para que estos se realicen de acuerdo a las especificaciones y tolerancias aceptables de tal modo que garanticen el cumplimiento de las teorías de diseño y la calidad requerida.

El buen comportamiento de una cimentación profunda, esta basada en aspectos esenciales en la construcción, como es la correcta selección del procedimiento y equipo adecuado para su correcta ejecución, para tal caso es necesario se revisen las condiciones reales del subsuelo y ver que estas sean congruentes con las de diseño así como también la calidad de la mano de obra y el control estricto durante el proceso.

La persona o personas encargadas de llevar a cabo la supervisión de la obra, además de la experiencia, debe tener una preparación académica suficiente para interpretar los fenómenos que se le presenten, y puedan tomar decisiones correctas ante los diferentes problemas o desviaciones que se puedan presentar durante la construcción.

A continuación se presentan los aspectos generales que deben cuidarse en una cimentación profunda, para después hacer referencia especifica a las pilas y pilotes.

GENERALES.

1. Verificar que los planos contenga el correspondiente estudio de mecánica de suelos, mostrando el perfil estratigráfico del lugar, así como las especificaciones necesarias y la secuencia del proceso constructivo.
2. Checar que las colindancias, accesos y topografía del terreno sean las correspondientes al terreno y a lo especificado en los planos y estudio de mecánica de suelos.
3. Ver que las edificaciones vecinas no presenten daños antes de iniciar los trabajos, en caso contrario reportarlo para realizar las actuaciones legales correspondientes.
4. Que se hayan efectuado la protección de colindancias y de vía publica, así como la protección a transeúntes y/o vehículos.
5. En los accesos para el equipo y dentro de las zonas de trabajo no haya obstáculos, como cables aéreos, instalaciones subterráneas como los ductos de PEMEX. Teléfonos, eléctricos, agua, luz, drenaje, así como cimentaciones antiguas o cualquier otro elemento capaz de obstruir o impida el libre movimiento y trabajo del equipo.
6. En el lugar debe de existir tomas de agua y energía eléctrica, y en caso contrario, gestionar su instalación.
7. Las licencias y permisos de construcción necesarios.
8. Antes de enviar el equipo a la obra, este se encuentre en buenas condiciones para trabajar correctamente, verificando que sea el equipo

adecuado según lo especificado, y que cuente con toda la herramienta y accesorios necesarios para su correcta ejecución.

9. Corroborar que los empleados que intervendrán en los trabajos cuenten con afiliación al seguro social y tengan consigo sus cédulas de identificación.

PILAS.

1. Deberá marcarse con una estaca la localización exacta de cada una de las pilas.
2. Contar con información general sobre el perfil estratigráfico, que además de mostrar los tipos de suelo y su resistencia al corte, cuente con:
 - Los estratos permeables de grava, arena o limo, espesor y localización de las capas, así como los niveles piezométricos en tales estratos.
 - El nivel piezométrico en la roca de apoyo si las pilas se desplantan sobre ella.
 - La presencia de obstrucciones arriba del nivel de desplante y el procedimiento de remoción.
 - Presencia de gas natural.
 - Análisis químico del agua freática.
3. Perforación.
 - Información general: fecha, condiciones atmosféricas, identificación visual, hora de inicio y terminación de la perforación, equipo utilizado y personal a cargo.
 - Localización de la pila: antes y después de la perforación.
 - Verificar que se cumplan las especificaciones del proyecto de acuerdo con el proceso constructivo utilizado.
 - Checar la verticalidad y las dimensiones de la perforación a intervalos regulares.
 - Cuando haya que atravesar estratos permeables, seleccionar método y equipo.
 - Cuando haya que atravesar obstrucciones, seleccionar método y equipo.
 - Selección de la secuencia de perforación y colado.
 - Registro de estratos de suelo atravesados durante la perforación.
 - Profundidad del estrato resistente donde se desplantara la pila.
 - Geometría de la campana.
 - Calidad del estrato de apoyo, se inspeccionara visualmente cuando sea posible.
 - Calidad del lodo bentonítico.
 - Cuando se presente perdidas de lodos se indicara la cantidad.
 - Limpieza del fondo y de las paredes en el fondo de la excavación y de los ademes en caso de que este sea permanente (o perdido).
 - Verificar que cuando la perforación atraviere estratos de arcilla blanda bajo el nivel freático, no deberá extraerse el bote a velocidad que provoque succión y en consecuencia caídos. Deberá subirse el bote despacio, para permitir el reestablecimiento de la presión o dejando en

el centro del bote una tubería que permita el paso rápido del lodo de perforación hacia la parte inferior del bote mientras esta sube despacio. Debe evitarse el uso indiscriminado de lodos y el nivel de este deberá permanecer un metro como mínimo arriba del nivel freático.

4. Colado del concreto.

- Información General: fecha, condiciones atmosféricas, identificación de la pila, hora de inicio y terminación del colado.
- Calidad del concreto: proporcionamiento, revenimiento, resistencia, agregado máximo, hora de mezclado, hora de salida, hora de llegada, hora de inicio de la descarga, volumen colocado, identificación de los camiones, deberá tomarse una muestra de tres cilindros por cada 10m³ de concreto o cada camión lo que sea menor para un ensayé a la edad de los 28 días.
- La colocación y posicionamiento del tubo o canalón de descarga del concreto sea el correcto y se haga con el método adecuado.
- Llevar el registro continuo del embebimiento del extremo del tubo tremie en el concreto.
- No usar tubería que tenga elementos que se atoren por dentro ni por fuera.
- Si se es posible observar la condición del fondo inmediatamente antes de colocar el concreto.
- Observar en que condiciones se encuentra las paredes de la excavación o del ademe de acero que estará en contacto con el concreto fresco y anotar la posición del nivel freático.
- El acero de refuerzo deberá estar limpio y colocado correctamente verificando diámetro, espaciamiento y longitud del acero longitudinal y el de los estribos.
- La unión en varillas con diámetros superior a 1" deberán soldarse a tope.
- No deberá usarse patos para el manejo del acero de refuerzo.
- Verificar que la posición del acero sea de conformidad con los planos y especificaciones.
- Durante la colocación del concreto en la pila verificar que no haya segregación de materiales cuando se utilizan procedimientos tales como caída libre desde una tolva, tubería tremie y botes con descarga de fondo
- No usar concreto bombeado a menos que sea colocado con tubería tremie.
- Cuando se utilice lodo bentonítico, debe hacerse una limpieza de este previa a la colocación del concreto, desarenandolo, o si es necesario sustituirlo completamente, para asegurar que el lodo no suelte azolves.
- Realizar las pruebas necesarias del concreto fresco: Revenimiento, aire incluido y peso volumétrico.
- El concreto deberá colocarse en forma continua, sin interrupciones ni retrasos largos.

- Cuando se utiliza ademes deberá mantenerse la altura de concreto lo suficiente si es que se va a extraer.
- Si no se utiliza ademes verificar que el peso del concreto sea el necesario para equilibrar la presión hidrostática existente.
- Comparar el volumen de concreto colocado con el equivalente a la altura de perforación.
- El concreto por ningún motivo debe contaminarse con el suelo debido a desprendimientos de las paredes o a extruccion.
- Para asegurar un flujo continuo del concreto al momento de ser colocado el revenimiento debe ser de 15cm.
- Cuando el revenimiento sea menor de 10cm el concreto se consolidara por medio de vibración en el ultimo tramo de 1.50 a 3.00m.
- Determinar la altura de descabece y la longitud exacta de cada elemento.
- Verificar topográficamente la localización de la pila terminada.

5. Tolerancias.

Cuando no cuenta con especificaciones, o en los planos no se indique las tolerancias, en general se recomiendan las siguientes.

- Localización. Se aceptara una excentricidad menor del 4% del diámetro de la pila, pero no mayor de 10 cm, en cualquier dirección.
- Verticalidad. Se considerara un desviación comprendida entre el 1 y 2% de la longitud final de la pila, pero no deberá ser mayor que 12.5% del diámetro de la pila o 38cm en el fondo, lo que sea menor.
- Campanas. El área de la base de la campana no será menor del 98% de la especificada, no se aceptara una inclinación de las paredes de la campana menor de 55° con respecto a la horizontal, el arranque vertical de la campana tendrá como mínimo 15cm de altura. El talud vertical debe ser de preferencia una línea recta o en su defecto ser cóncavo hacia abajo. Se aceptara concavidad hacia arriba siempre y cuando esta no rebase los 15 cm en cualquier punto a lo largo de una regla colocada en los extremos.
- Limpieza. Deberá de removerse todo el material suelto y de azolve antes de colocar el concreto, se aceptara como máximo 2.5cm de espesor de estos materiales en el fondo.
- Concreto. El tamaño máximo del agregado será de 3/4", con un revenimiento mayor de 18cm.
- Tubería tremie. El diámetro interior será mayor de 10 veces el tamaño máximo del agregado del concreto y menor de 12".
- Ademes. Deberán de manejarse y protegerse de tal manera que no se ovalen mas del 5% del diámetro nominal.
- Acero de refuerzo. Los traslapes del acero de refuerzo será menor al 50% en una sección. La separación del acero de refuerzo tanto en el sentido longitudinal como en el transversal deben ser mayor de 20cm, en los extremos no se permitirá dobles ni recubrimiento, a lo largo del fuste el recubrimiento será mayor de 7.0cm; cuando se utilice ademe metálico será mayor de 14cm.

6. Informes.

Deberá de entregarse informes diarios firmados al director responsable de obra con copias a diferentes áreas interesadas, como son al área de diseño y de geotecnia. Con los siguientes reportes:

- Localización exacta, dimensiones de las perforaciones realizadas, elevación del brocal y del fondo, registro de mediciones de verticalidad, método de perforación empleado, descripción de los materiales encontrados, de las condiciones en que se encontró el nivel freático y las obstrucciones encontradas y removidas durante la perforación.
- Descripción del ademe temporal o del permanente, incluyendo su finalidad, longitud y espesor de la pared, y si fue proyectado el empotrado y sello obtenido.
- Descripción del comportamiento del suelo o del agua, estabilidad de la campana y de las paredes, pérdida de suelo, métodos de control y necesidades de bombeo.
- Datos obtenidos de la medición directa de la perforación y de la campana.
- Métodos de limpieza y grado de limpieza alcanzado en su inicio.
- Elevación a la cual se encontró el material de apoyo y descripción de este, así como el tipo de sondeos realizados, método de muestreo, especímenes recuperados, pruebas realizadas y conclusiones alcanzadas.
- Grado de limpieza justo antes de colocar el concreto.
- Profundidad del espejo de agua en el fondo de la perforación y gasto de filtración antes de colocar el concreto.
- Registro del acero de refuerzo en cuanto al armado, posición y calidad.
- Registro del método utilizado en la colocación del concreto y en dado caso de la extracción del ademe y el registro de la elevación del concreto al comienzo del vibrado.
- Registro de dificultades encontradas tales como: inclusión de suelo, posibles huecos, estrangulamiento o colapso del ademe.
- Registro de las características del concreto premezclado como son: Revenimiento, peso volumétrico, aire incluido,, ensayos de cilindros en compresión y otras pruebas.
- Registro de toda desviación de las especificaciones y decisiones tomadas al respecto.

7. Posibles causas de no conformidades por pilas defectuosas.

- Pueden formarse huecos en el fuste por una mala extracción del ademe.
- Contaminación del concreto a causa del desconchamiento del suelo.
- Localización incorrecta.
- Falta de verticalidad.
- Refuerzo inadecuado.
- Mala colocación del concreto, provocando segregación.
- Estrangulamiento del fuste.
- Colapso del ademe.

- Formación de juntas frías.
- Concreto de mala calidad.
- Contaminación del concreto con lodo de perforación.
- Dimencionamiento inadecuado de la campana.
- Estrato de apoyo inadecuado

PILOTES.

1. Deberá localizarse topográficamente la ubicación de cada pilote, mediante estacas, y se colocaran referencias extremas.
2. Los pilotes deben cumplir con lo especificado en cuanto a su tipo y forma.
3. Durante la construcción de los pilotes en planta se verificará que:
 - La geometría de los moldes se ajuste a las especificaciones.
 - El acero de refuerzo cumpla con las especificaciones con respecto a dimensiones, forma y calidad.
 - Las condiciones de curado sean las adecuadas.
 - Los procedimientos de manejo y almacenaje sean los correctos.
 - La calidad del concreto sea la especificada en cuanto a su resistencia, revenimiento, proporcionamiento etc
 - Las juntas de unión cumplan con las sollicitaciones de esfuerzos requeridas para los pilotes.
 - La soldadura cumpla con las especificaciones y control de calidad.
 - Las maniobras de manejo e izaje se realicen cuando la resistencia del concreto sea la adecuada.
 - Los pilotes que se reciban en obra deben tener indicada la edad y resistencia del concreto.
 - La placa de unión debe estar a escuadra con el cuerpo del pilote y además tenga marcado su cara correspondiente.
 - Las uniones se lleven a cabo de acuerdo a las especificaciones.
4. Durante el hincado.
 - En los martillos diesel: tipo, marca y numero de serie; masa del martillo y del pistón, carrera, energía nominal de hincado y golpes por minuto.
 - Para el gorro de hincado: masa del gorro, dimensión en comparación con las del pilote, martillo y guías, tipo de colchón, condiciones del colchón, tipo de sufrideras usadas en el martillo, espesor de la sufridera del martillo, condición física de la sufridera del martillo.
 - Tipo y características de los seguidores.
 - Información general acerca de la fecha, hora, condiciones atmosféricas, identificación del pilote.
 - Localización precisa del pilote antes del hincado.
 - Verticalidad del pilote.
 - Verticalidad de las guías del martinete.
 - Numero de golpes necesarios para la penetración del pilote.
 - La calidad de las uniones o juntas sean las especificadas

- Localización, hora, duración y motivo de cualquier interrupción durante el hincado.
- Cota final de la cabeza del pilote.
- Posible emersión de los pilotes adyacentes.

5. Tolerancias.

- En la fabricación de los pilotes se considerara: una longitud de $\pm 3\text{mm}$ por cada metro de longitud, la sección transversal se aceptara una variación de 6 a 13mm, con respecto a la desviación con el eje longitudinal no más de 1mm por metro de longitud.
- El tamaño máximo del agregado no será mayor de $3/4"$.
- El revenimiento del concreto no será menor de 12cm.
- El retiro de la cimbra del pilote será cuando el concreto alcance el 50% de su resistencia.
- El recubrimiento del acero de refuerzo tendrá como mínimo 2.5cm pero no mayor de 5cm.
- Los traslapes del acero de refuerzo será menor al 50% en una sección.
- El acero de refuerzo en los extremos deberá ser sin recubrimiento ni dobleces.
- Se aceptara 2% de la longitud total del pilote como desviación de la verticalidad, aunque en suelos muy heterogéneos se aceptara hasta un 4% de su longitud.
- La excentricidad radial con relación al trazo del pilote medido en la plataforma del trabajo será de 25% de la diagonal mayor de la sección del pilote.

6. Informes.

Deberá de entregarse informes diarios firmados al director responsable de obra con copias a diferentes áreas interesadas como son al área de diseño y de geotecnia. Con los siguientes reportes:

- Localización exacta y las dimensiones del pilote, y el registro de mediciones de verticalidad, descripción de los materiales encontrados, de las condiciones en que se encontró el nivel freático y las obstrucciones encontradas y removidas durante la perforación.
- Registro del acero de refuerzo en cuanto al armado, posición y calidad.
- Registro de las características del concreto utilizado para la fabricación de los pilotes como son: revenimiento, peso volumétrico, aire incluido, ensayos de cilindros en compresión y otras pruebas.
- Registro del equipo utilizado para el hincado de pilote
- Registro de hincado
- Registro de toda desviación en las especificaciones y decisiones tomadas al respecto.

III.3 INTRODUCCION AL ISO 9000

A partir de la revolución industrial y hasta la fecha, el ámbito tecnológico se ha visto en la necesidad de establecer medidas que garanticen calidad en productos y seguridad cuando se trata de obras civiles, además de la seguridad para los trabajadores durante los procesos, no solo por la complacencia hacia el consumidor, también por la competitividad generada por otras empresas. Lo que ha establecido algunas reglas o normas para la elaboración de procesos, desde la selección de materia primas hasta la revisión del producto terminado incluyendo el diseño del producto y el proceso para llevarlo a cabo.

La aplicación y desarrollo de técnicas y métodos de control de calidad, se realizaron después de la segunda guerra mundial. Así entre 1946 y 1947 se funda en Londres, Inglaterra. La Organización Internacional para la Normalización, comúnmente llamado ISO por sus siglas en ingles (*International Organization for Standarization.*). ISO es una federación mundial de cuerpos miembro, establecida para promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicaciones. Esta constituida por cuerpos miembro de mas de 90 países. Siendo en México la Dirección General de Normas (DGN) y en los Estados Unidos la American National Standarts Institute (ANSI)

ISO desarrolla normas en todas las ramas industriales. Antes de desarrollar una norma, recibe información de los gobiernos, industria y otras partes interesadas. Todas las normas desarrolladas por ISO son voluntarias; ningún requerimiento legal fuerza a los países a adoptarlas, sin embargo, cuando algún país o industria las adoptan como requisitos para llevar a cabo sus negocios, son virtualmente mandatarias en dichos casos. El trabajo de preparación de las normas internacionales se lleva a través de comités técnicos. Este trabajo de las normas internacionales a su vez se delega a los subcomités, que a su vez lo integran grupos de trabajo.

Cada cuerpo miembro interesado en un tema o asunto, para el que un comité técnico haya sido establecido, puede ser representado en ese comité. Los borradores de las normas internacionales se adoptan por los comites técnicos, y se circulan a los cuerpos miembro para que voten. La publicación de una norma internacional requiere la aprobación de, al menos, 75% de los cuerpos miembro en voto confirmado.

La familia de normas ISO 9000 estan basadas en una norma militar editada por el departamento de defensa de los Estados Unidos en 1959 donde estableció un programa de administración de calidad, el cual obligaba a los proveedores del departamento de defensa a establecer un sistema de calidad con sectores definidos de inspección de entrada, inspección en proceso e inspección final. En 1968 la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), adopta esta norma con otra designación como una publicación de aseguramiento de calidad de los aliados. Después fue adoptada por el ministerio de defensa del Reino Unido como una norma de la administración del programa de defensa. La adopción por parte de la OTAN y del Reino Unido fue suficiente para que el BSI (Britihs Standard Institute) desarrollara estas normas para el uso civil cuya intención fundamental fue

el guiar a compañías que deseaban establecer un sistema de calidad el cual no era de carácter mandatorio como las normas militares.

Fue en 1979, cuando ISO estableció un comité técnico que tenía como tarea desarrollar la serie de las normas ISO 9000, en esencia, adoptando la mayoría de los elementos de la norma desarrollada por el BSI. Siete años mas tarde, en junio de 1986, se emitió la norma internacional ISO 8402:1986, donde se describen y definen 22 términos relacionados con la calidad y los sistemas de calidad. El 15 de marzo de 1987 el comité técnico publica oficialmente la serie ISO 9000, que en su primera edición abarca:

- ISO 9000:1987, Normas De Administración De Calidad Y Aseguramiento De Calidad. Lineamientos Para Selección Y Uso.
- ISO 9001:1987, Sistemas De Calidad – Modelo Para Aseguramiento De Calidad En Diseño / desarrollo, Producción, Instalación Y Servicio.
- ISO 9002:1987, Sistemas De Calidad – Modelo Para Aseguramiento De Calidad En Producción E Instalación.
- ISO 9003:1987, Sistemas De Calidad – Modelo Para Aseguramiento De Calidad En Inspección Final Y Prueba.
- ISO 9004:1987, Administración De Calidad, Elementos Del Sistema De Calidad – Lineamientos.

A partir de 1990, sé amplio la serie de normas ISO 9000 con la edición y publicación de las siguientes normas.

15 de Diciembre de 1990.

- ISO 10011-1:1990, Lineamientos Para Auditar Sistemas De Calidad – Parte 1: Auditoria, Primera Edición.

01 de Mayo de 1991.

- ISO 10011-2:1991, Lineamientos Para Auditar Sistemas De Calidad – Parte 2: Criterios De Calificación De Auditores De Sistemas De Calidad, Primera Edición.
- ISO 10011-3:1991, Lineamientos Para Auditar Sistemas De Calidad – Parte 3: Administración De Programas De Auditoria, Primera Edición.

01 de agosto de 1991

- ISO 9004-2:1991, Administración D La Calidad Y Elementos De Sistemas De Calidad – Parte 2: Lineamientos Para Servicios, Primera Edición.
- ISO 9000-3:1991, Normas De Administración De Calidad Y Aseguramiento De Calidad – Parte 3: Lineamiento Para La Aplicación De ISO 9001 Para El Desarrollo, Suministro Y Mantenimiento De Software.

1992.

- ISO 10012-1:1992, Administración De Calidad, Requerimientos Para Equipo De Medición – Parte 1: Sistema De Confirmación Metrologica Para Equipo De Medición.

1993.

- ISO 9000-2:1993, Normas De Administración De Calidad Y Aseguramiento De Calidad – Parte 2: Lineamientos Genéricos Para La Aplicación De ISO 9001, ISO 9002 E ISO 9003.
- ISO 9000-4:1993, Normas De Administración De Calidad Y Aseguramiento De Calidad – Parte 2: Lineamientos Para Un Programa De Mantenimiento De La Dependabilidad.
- ISO 9004-3:1993, Administración De Calidad Y Elementos Del Sistema De Calidad – Parte 3: Lineamientos Para Materiales Procesados.
- ISO 9004-4:1993, Administración De Calidad Y Elementos De Sistema De Calidad – Parte 3: Lineamientos Para El Mejoramiento De La Calidad.

En 1990 México aprueba y adopta estas normas con categoría NOM (Norma Oficial Mexicana) sobre sistemas de calidad, fue un error haberlas clasificado como NOM siendo que estas normas no son de carácter obligatorio, a continuación se presentan estas normas y su equivalencia con las normas ISO.

DESIGNACIÓN MEXICANA	EQUIVALENCIA CON ISO	TITULO DE LA NORMA
NOM-CC-1:1990	ISO 8402:1986	SISTEMAS DE CALIDAD-VOCABULARIO
NOM-CC-2:1990	ISO 9000:1987	SISTEMAS DE CALIDAD-GESTION DE CALIDAD. GUIA PARA LA SELECCIÓN Y EL USO DE NORMAS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.
NOM-CC-3:1990	ISO 9001:1987	SISTEMAS DE CALIDAD-MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD APLICABLE AL PROYECTO/DISEÑO, LA FABRICACIÓN, LA INSTALACIÓN Y EL SERVICIO.
NOM-CC-4:1990	ISO 9002:1987	SISTEMAS DE CALIDAD-MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD APLICABLE A LA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN.
NOM-CC-5:1990	ISO 9003:1987	SISTEMAS DE CALIDAD-MODELO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD APLICABLE A LA INSPECCION Y PRUEBAS FINALES.
NOM-CC-6:1990	ISO 9004:1987	SISTEMAS DE CALIDAD-GESTION DE LA CALIDAD Y ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CALIDAD. DIRECTRICES GENERALES.
NOM-CC-7:1990	ISO 10011-1:1990	SISTEMAS DE CALIDAD-AUDITORIAS DE CALIDAD.
NOM-CC-8:1990	ISO 10011-2:1991	SISTEMA DE CALIDAD-CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE AUDITORES.

CONTROL DE CALIDAD Y CERTIFICACIÓN ISO 9000 EN LA CONSTRUCCIÓN DE
CIMENTACIONES PROFUNDAS

Las normas editadas durante el periodo comprendido entre marzo de 1987 y agosto de 1994 formaban la serie ISO 9000. Algunas de estas normas fueron revisadas en 1994, y a partir de entonces, el nombre cambio a familia ISO 9000. En México a partir de este mismo año se corrige el error de haber considerado estas normas como oficiales y se clasifican con la categoría NMX, es decir norma mexicana con carácter de no obligatoria. A continuación se presenta la edición de las normas pertenecientes a la familia ISO 9000 y su equivalencia con las normas mexicanas.

DESIGNACIÓN MEXICANA	EQUIVALENCIA CON ISO	TITULO DE LA NORMA
NMX-CC-001:1995	ISO 8402: 1994	ADMINISTRACIÓN DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD-VOCABULARIO
NMX-CC-002/2:1995	ISO 9000-1:1994	NORMAS DE ADMINISTRACIÓN DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD-LINEAMIENTOS PARA SELECCIÓN Y USO
NMX-CC-003:1995	ISO 9001:1994	SISTEMAS DE CALIDAD-MODELO PARA ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN DISEÑO, DESARROLLO, PRODUCCIÓN, INSTALACIÓN Y SERVICIO.
NMX-CC-004:1995	ISO 9002: 1994	SISTEMA DE CALIDAD-MODELO PARA ASEGURAMIENTO DE CALIDAD EN PRODUCCIÓN, INSTALACIÓN Y SERVICIO.
NMX-CC-005:1995	ISO 9003: 1994	SISTEMAS DE CALIDAD-MODELO PARA ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN INSPECCION FINAL Y PRUEBA.
NMX-CC-006/1:1995	ISO 9004-1:1994	ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD Y ELEMENTOS DE SISTEMAS DE CALIDAD-LINEAMIENTOS.
NMX-CC-0018:1995	ISO 10013: 1995	LINEAMIENTOS PARA MANUALES DE CALIDAD.
NMX-CC-0019:1995	ISO 10007: 1995	ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD-LINEAMIENTOS PARA LA CONFIGURACIÓN ADMINISTRATIVA.

A continuación se da un breve resumen del contenido de las normas de la familia ISO 9000 a partir de la revisión de 1994. La familia de normas ISO 9000 contiene en general dos tipos de normas. Las que son contractuales como ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003 y las restantes que son de consulta o también llamadas internas, como las de auditoria, de manuales, etc.

Las normas contractuales, son aquellas que bajo acuerdo expreso, explicito y por escrito entre cliente-proveedor-contratista-subcontratista se estipula su aplicación, uso, control, mantenimiento y vigilancia, por medio de auditorias de primera, segunda o tercera parte. La auditoria de primera parte es aquella llevada

a cabo por el propio personal de la propia compañía; la auditoria de segunda parte es llevada a cabo por personal del cliente; la de tercera parte es llevada por un tercero que por lo general es una compañía acreditada para llevar a cabo dichas auditorias en representación del cliente o de la misma empresa.

La norma ISO 8402 contiene el vocabulario empleado en el resto de las normas, la norma ISO 9000-1 menciona conceptos de globalización y competitividad en amplitud industrial y de sectores económicos, describe los elementos con que debe contar un sistema de calidad, pero no la forma de implantarlos en una organización. Recalca que en la implantación de un sistema de calidad el cliente espera calidad del producto, servicio o material procesado, los empleados esperan satisfacción en su carrera; los propietarios rendimiento en su inversión; los subcontratistas oportunidad de negocio continuo; y la sociedad cuidado responsable.

La norma ISO 9000-1 marca los lineamientos para la selección y el uso de las normas contractuales mencionadas anteriormente, para toda empresa, compañía o institución que quiera implementar un sistema de calidad, se seleccionaba las normas ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003 de acuerdo con las operaciones que realice cada empresa, por ejemplo: la norma ISO 9001 se aplica cuando la organización, empresa o institución cubre toda la gama del sistema operativo: Diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio, es también llamada norma principal, ya que contiene los requerimientos más amplios de toda la familia. Las compañías que desean establecer el sistema de calidad en producción, instalación y servicio, deben utilizar la norma ISO 9002 que es la que mas certificaciones tiene en el mundo, debido a que estas organizaciones no hacen diseño y desarrollo. Por ultimo la norma ISO 9003 se aplica cuando la empresa se dedica únicamente a la inspección final, es muy utilizada para la certificación de laboratorios de pruebas.

La norma ISO 9001 es una norma referida a los requisitos de los sistemas de calidad, son los llamados 20 pasos hacia la calidad que maneja la familia ISO 9001, a continuación se presenta el contenido de la norma.

0. Introducción.
1. Objetivo y campo de aplicación.
2. Normas de referencia.
3. Definiciones.
4. Requisitos del sistema de calidad.
 - 4.1 Responsabilidad directiva.
 - 4.2 Sistema de calidad.
 - 4.3 Revisión de contrato.

 - 4.4 Control de diseño.
 - 4.5 Control de documentos y datos.
 - 4.6 Compras.
 - 4.7 Productos suministrados por el cliente.
 - 4.8 Identificación y rastreabilidad del producto.

- 4.9 Control del proceso.
- 4.10 Inspección y prueba.
- 4.11 Control del equipo de inspección, medición y prueba.
- 4.12 Estado de inspección y prueba.
- 4.13 Control de producto no conforme.
- 4.14 Acciones correctivas y preventivas.
- 4.15 Manejo, almacenamiento, empaque, conservación y entrega.
- 4.16 Control de registros.
- 4.17 Auditorias internas de calidad.
- 4.18 Capacitación.
- 4.19 servicio.
- 4.20 Técnicas estadísticas.

Las normas ISO 9002 e ISO 9003 estan contenidas en la norma ISO 9001, la diferencia que radica es la omisión de algunos puntos que no estan contenidos en ISO 9002 e ISO 9003. Por ejemplo el punto 4.4 de los mencionados anteriormente; Control de Diseño. No es un requisito de la norma ISO 9002. Para la norma ISO 9003, además del punto mencionado anteriormente, también se excluyen los siguientes puntos: punto 4.6, compras; punto 4.9, control de procesos; y el punto 4.19, servicio.

La norma ISO 9004 describe los elementos la mejora del desempeño de un sistema de calidad, a través de la administración de la calidad, es decir suministra lineamientos sobre la administración de la calidad y elementos del sistema de calidad. Con la visión de asegurar la satisfacción del cliente. No tiene la intención de uso contractual, regulador o de certificación.

Después de la revisión de 1994 ISO acordó hacer revisiones de sus normas por un periodo aproximado de 5 años, así en para el año 2000 aparece la nueva edición de normas que forman la familia ISO 9000: 2000. En México se elimina la numeración que anteriormente se manejaba en las normas y se cambia a la numeración utilizada por las normas ISO. De esta manera se edita la edición 2000 de las normas de la familia ISO que a continuación se describe.

DESIGNACIÓN MEXICANA	EQUIVALENCIA CON ISO	TITULO DE LA NORMA
NMX-CC-9000:2000	ISO 9000:2000	SISTEMAS DE GESTION DE CALIDA- PRINCIPIOS Y VOCABULARIO
NMX-CC-9001:2000	ISO 9001:2000	SISTEMAS DE GESTION DE CALIDAD- REQUISITOS.
NMX-CC-9004:2000	ISO 9004:2000	SISTEMAS DE GESTION DE LA CALIDAD- RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DEL DESEMPEÑO.

Las normas de la edición 2000 citadas, se han elaborado para asistir a las organizaciones, de todo tipo y tamaño, en la implementación y la operación de sistemas de gestión de calidad.

La norma ISO 9000:2000 anula y reemplaza a la norma ISO 8402:1994, describe los fundamentos de los sistemas de gestión de la calidad y especifica la terminología para los sistemas de gestión de calidad.

La norma ISO 9001:2000 especifica los requisitos para los sistemas de gestión de la calidad aplicable a toda organización que necesite demostrar su capacidad para proporcionar productos que cumplan los requisitos de sus clientes y los reglamentos que le sean aplicables, su objetivo es aumentar la satisfacción del cliente. Esta norma es la única de tipo contractual de las tres que conforman esta edición, engloba en una misma lo que en la edición anterior formaban las tres normas contractuales; ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003. A partir de esta edición la organización que desee establecer un sistema de gestión de la calidad deberá cumplir con los requisitos establecidos en esta norma, a excepción, y de igual forma que en la edición anterior si se requiere una certificación de alguna empresa que no aplique diseño y desarrollo también podrá certificarse omitiendo el inciso 7.3 con respecto al diseño y desarrollo. Con lo que respecta a la norma ISO 9003 de la edición anterior deberán omitirse el punto 7 "Realización del producto", con sus respectivos incisos 7.3 "Diseño y desarrollo", 7.4 "Compras" y 7.5 "Producción y prestación del servicio".

La norma ISO 9004:2000 proporciona directrices que consideran tanto la eficacia como la eficiencia del sistema de gestión de la calidad. El objetivo de esta norma es la mejora del desempeño de la organización y la satisfacción de los clientes y de otras partes interesadas. Esta estructurada de la misma manera que la norma ISO 9001 para asegurar la compatibilidad entre ambas, pero no es una norma con fines contractuales, o de certificación es una norma enfocada a la mejora de un sistema de gestión de calidad, y por tanto son normas complementarias.

A continuación se presenta el contenido de la norma ISO 9001:2000 (NMX-CC-9001:2000).

0. Introducción.
1. Objetivo y campo de aplicación.
 - 1.1 Generalidades.
 - 1.2 Aplicación.
2. Referencia normativa.
3. Términos y definiciones.
4. Sistema de gestión de calidad.
 - 4.1 Requisitos generales.
 - 4.2 Requisitos de la documentación.
5. Responsabilidad de la dirección.
 - 5.1 Compromiso de la dirección.
 - 5.2 Enfoque al cliente.
 - 5.3 Política de calidad.
 - 5.4 Planificación.
 - 5.5 Responsabilidad, autoridad y comunicación.
 - 5.6 Revisión de la dirección.
6. Gestión de recursos.
 - 6.1 Provisión de recursos.

- 6.2 Recursos humanos.
- 6.3 Infraestructura.
- 6.4 Ambiente de trabajo.
- 7. Realización del producto.
 - 7.1 Planificación de la realización del producto.
 - 7.2 Procesos relacionados por el cliente.
 - 7.3 Diseño y desarrollo.
 - 7.4 Compras.
 - 7.5 Producción y prestación del servicio.
 - 7.6 Control de dispositivos de seguimiento y de medición.
- 8. Medición, análisis y mejora.
 - 8.1 Generalidades.
 - 8.2 Seguimiento y medición.
 - 8.3 Control de producto no conforme.
 - 8.4 Análisis de datos.
 - 8.5 Mejora.
- 9. Bibliografía.
- 10. Concordancia con normas internacionales.

III.4 IMPLANTACION DEL SISTEMA GESTION DE LA CALIDAD ISO 9001.

En el capítulo anterior, se menciona de forma general el contenido de las normas pertenecientes a la familia ISO 9000:2000. Enseguida se presenta en resumen el contenido de cada uno de los puntos enlistados anteriormente, y cual sería la manera de enfocarlo a lo que sería la construcción de las cimentaciones profundas.

Los puntos del 0 al 3 presentan, todo lo referente a la norma, como, la introducción, el objetivo y campo de aplicación, referencias normativas y los términos y definiciones. Los capítulos 4 al 8 mencionan los requisitos con que debe cumplir una organización para implantar un sistema de gestión de la calidad, que a continuación se describen: el capítulo 4 se refiere a los requisitos con que debe cumplir la alta dirección y su responsabilidad para establecer un sistema de gestión de la calidad. El capítulo 6 nos indican los recursos necesarios para llevar a cabo la implantación del sistema de gestión de la calidad; El capítulo 7 se refiere más específicamente a la realización del producto, abarcando los diferentes procesos necesarios para la realización del mismo, como lo es el diseño y desarrollo del producto, la adquisición de materiales para llevar a cabo dicho proceso, la producción en si del producto y control de dispositivos para darle seguimiento y medición al producto. Por ultimo el capítulo 8 menciona la forma de incrementar la probabilidad de aumentar la satisfacción de los clientes.

SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD.

Se puede definir un sistema de gestión de la calidad como un conjunto de actividades planeadas, llevadas a cabo por una organización con el fin de garantizar que un producto o servicio cumple con los requisitos de calidad especificados o acordados entre cliente y proveedor.

Establece en forma general los requisitos necesarios para implantar un sistema de gestión de la calidad y su aplicación a través de la organización. Mediante la identificación de procesos, estos procesos llevaran una secuencia que se determinara a través de criterios y métodos necesarios para el aseguramiento de la operación y el control, se encargara de contar con los recursos necesarios para el buen funcionamiento de las operaciones, dándoles seguimiento a la medición y análisis para tomar acciones necesarias que la lleven a una mejora continua.

La documentación es sin duda la columna vertebral del sistema de gestión de calidad, es mediante esta que se establecen todos y cada uno de los lineamientos necesarios para llevar a cabo todo tipo de proceso, el aseguramiento y control de la calidad es: escribir lo que se va a hacer, hacer lo que se ha escrito, escribir lo que se ha hecho y archivar lo que se ha escrito

Los documentos de seguimiento permiten recopilar y conservar información acerca de las condiciones reales de ejecución y aportan la evidencia del ejercicio de control interno. Los documentos estan constituidos por:

Manuales de calidad. Son los documentos que proporcionan información coherente, interna y externamente del sistema de gestión de calidad de la organización.

Planes de calidad. Describen como se aplica el sistema gestión de la calidad a un producto, proyecto o contrato específico.

Especificaciones. Documentos que establecen los requisitos del producto, además pueden proporcionar información de cómo efectuar las actividades y los procesos e instrucciones de trabajo.

Guías. Establecen recomendaciones y sugerencias.

Planos. Documentos que presentan en forma grafica los requisitos y especificaciones de los productos.

Registros. Proporcionan evidencia objetiva de las actividades realizadas o resultados obtenidos

La gestión de los documentos de ejecución permiten: la elaboración, flujograma, aprobación, actualización y archivo de documentos.

En la mayoría de empresas dedicadas a la construcción, y en particular para cada obra, se manejan dos aspectos importantes, el aseguramiento de calidad del proyecto y la gestión de la calidad de las funciones desarrolladas por una empresa de supervisión.

El establecimiento de un plan de aseguramiento de calidad impone al contratista y a la supervisión una gestión que necesita una formalización mas precisa para la organización de la obra y del sistema de control implementado por una parte, por la empresa constructora (control interno) y por otra parte, por la supervisión (control independiente.).

El sistema de gestión de calidad se establece para precisar los principios de un nuevo sistema de responsabilidades y relaciones, que deben instaurarse entre los diferentes actores de la construcción de la obra, por tal motivo la organización del control debe ser adaptada a la obra en particular y a los métodos de la empresa.

RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCIÓN.

La dirección de la organización toma el compromiso de establecer un sistema de gestión de la calidad, estableciendo una política de calidad donde se compromete a asegurar que los requisitos del cliente se determinan y cumplen, establece los objetivos de calidad, los cuales deben ser medibles y coherentes con la política de calidad. Se planea el sistema de gestión de calidad con el fin de cumplir con los objetivos de la calidad, para lo cual se seleccionara a una persona con responsabilidad y autoridad, como representante de la dirección quien debe asegurarse de que se establecen, implementan, mantienen y cumplen los procesos necesarios del sistema de gestión de la calidad, mediante la revisión continua de los procesos, informando a la alta dirección sobre el desempeño de los mismos, incluyendo en los informes las decisiones y acciones relacionadas con la mejora de la eficacia del sistema de gestión de calidad y la mejora del producto en relación con los requisitos del cliente.

En la mayoría de las obras civiles el dueño de la obra contrata a otras empresas para que estas se encarguen de llevar el control de la supervisión, quienes se encargaran de dar verificación y seguimiento permanente del estado de los procedimientos, métodos, condiciones de ejecución, procesos productos,

servicios, y análisis de resultados registrados por comparación con los documentos de referencia para asegurarse de que las exigencias especificadas para la calidad estén en proceso de ser cumplidas

Desde el inicio de la concepción del proyecto, el dueño de la obra, en el marco del programa, debe entregar a la supervisión los elementos necesarios para la definición de la calidad requisitada exigida a la empresa. El supervisor debe, en el marco de su propia gestión de la calidad, elaborar un plan de control en el proceso que indique: la preparación de la obra y la ejecución de los trabajos.

En el primer punto, la supervisión puede estar obligada, por el dueño de la obra, a establecer un esquema director de la calidad para armonizar e unir los sistemas de calidad de los diferentes involucrados, integrando las disposiciones individuales de cada uno.

Los planes de aseguramiento de la calidad pueden ser modificados, únicamente, con base en la preocupación de gestionar las interfaces. Durante esta etapa de preparación, el plazo programado no debe ser reducido y la supervisión debe:

- a. precisar y confirmar a la empresa:*
 - El procedimiento de flujo y asignación de los documentos con sus modificaciones eventuales.*
 - La gestión de las modificaciones de los planos de ejecución.*
 - Las disposiciones previstas para gestionar las interfaces técnicas y organizacionales.*
 - Sus comentarios para los procedimientos de la empresa.*
 - Sus exigencias para nuevos procedimientos, si es necesario.*
 - Definir los puntos críticos y los altos en el proceso, así como los controles previstos en cada uno de ellos.*
- b. Asegurar el control y cumplimiento de los documentos entregados por la empresa: Calendarios de estudios, memorias de cálculo, planos de ejecución, los procedimientos para el plan de aseguramiento de la calidad, el plan de higiene y seguridad y asignar estos documentos, con o sin observaciones en los plazos previstos.*
- c. Organizar el sistema de gestión de sus propias tareas.*
- d. Establecer el plan de control, de los trabajos que debe presentarse como una lista:*
 - Objetivo de control.*
 - Personal encargado de efectuar cada control*
 - Frecuencia de realización de los controles.*
 - Los documentos de referencia.*
 - Los resultados a obtener.*

Durante la ejecución de los trabajos, la supervisión esta obligada de asegurarse que la calidad de la obra y su conformidad

GESTION DE RECURSOS.

Establece los recursos necesarios para cumplir con los requisitos del producto y para implementar y mantener un sistema de gestión de la calidad; mantener su eficacia de manera continua; Siendo estos recursos: humanos, materiales e infraestructura. Preverá que se cuente con el personal calificado y seleccionado de acuerdo con la actividad que desarrollara, contando para cada caso con registros de educación, formación, habilidades y experiencias apropiadas; así como equipo y las instalaciones necesarias para la realización de los procesos; y los materiales necesarios para la elaboración del producto.

En esta etapa se establecen los recursos necesarios para llevar a cabo los procesos de gestión de aseguramiento de la calidad, para este caso la supervisión determinara el personal, recursos materiales e instalaciones para lograrlo, además de estimar de igual manera el personal necesario con que debe contar el subcontratista; por ejemplo si el producto o servicio es el hincado de pilotes, el personal básico de operación de pilotaje seria: un sobrestante: que se encarga de coordinar y dirigir el proceso constructivo, abastecimiento de insumos, refacciones, mantenimiento y asistencia al residente. Un cabo. Responsable de la cuadrilla de trabajo y auxiliar del operador, recibe ordenes del sobrestante y/o residente según la obra en que se trate. Un operador. Elemento capacitado en el manejo y/o mantenimiento de equipo y maquinaria pesada, tiene como auxiliar al cabo y recibe ordenes directas del sobrestante y/o residente. Y el maniobrista es el trabajador que participa en el movimiento de maquinaria pesada, o bien, en el movimiento de piezas mediante equipo, por lo tanto el maniobrista deberá estar capacitado en el empleo de herramientas especiales, mantenimiento del equipo que utiliza y fundamentalmente el preservar su seguridad y la de los demás al efectuar su trabajo. Cabe señalar que no es la única cuadrilla presente en la construcción de cimentación profunda, interviene mas personal, que la supervisión determinara, en conjunción con el contratista para los diferentes procesos de la obra, además de seleccionar el procedimiento y equipo necesario, es solo un ejemplo del personal que se utilizará y los recursos de los subcontratistas, con referencia del personal responsable, los recursos generales en equipo

REALIZACIÓN DEL PRODUCTO.

Deberá planearse las etapas de realización del producto desde el diseño hasta la entrega del mismo, el primer paso para realización del producto es determinar los requisitos relacionados con el producto, que serán proporcionados por el cliente, incluyendo los requisitos para la entrega; también se deberá cumplir con requisitos no establecidos por el cliente, pero necesarios para el uso específico o previsto del producto cuando sea conocido, basándose para esto en requisitos legales y reglamentarios relacionados con el producto, haciéndosele saber al cliente mediante la revisión de los requisitos que permita resolver diferencias existentes entre los requisitos de contrato y los expresados previamente.

Una vez establecidos y aceptados los requisitos y especificaciones del producto, se tomarán estos como elementos o datos de entrada para la realización del diseño y desarrollo, para lo cual se planearán las etapas del diseño y desarrollo que incluirán resultados, revisión, verificación y validación del diseño y desarrollo para lo cual será necesario contar con un control de los cambios hechos durante las diferentes etapas. El diseño y desarrollo debe proporcionar un producto que cumpla con lo planeado, que los resultados cumplen con los datos de entrada y asegurarse que el producto terminado satisface los requisitos para su uso.

Ya terminado el diseño se procede a seleccionar los materiales necesarios para la realización del producto, los cuales deben cumplir con los requisitos de norma especificada, por tal motivo se evalúan y seleccionan proveedores, se tendrá información de los requisitos mínimos necesarios para la aprobación del producto incluyendo, procedimientos, procesos y equipos.

Para la producción o prestación de servicios se requerirá de información que describa las características del producto, las instrucciones de trabajo, el uso de dispositivos de seguimiento y medición; se aprobarán y establecerán los procesos de producción, incluyendo métodos y procedimientos específicos, se registrarán todas las actividades relacionadas con los procesos y se identificará el producto por medios adecuados, a través de toda la realización para un mejor control y trazabilidad.

Se determinarán un control de dispositivos de seguimiento y medición durante el proceso para proporcionar evidencia de la conformidad del producto con los requisitos determinados.

El producto deberá preservarse durante el proceso interno y la entrega, protegiéndose contra daños y deterioro antes y después de la entrega.

Este apartado involucra todo lo relacionado a la cimentación profunda como producto, descrito en el capítulo II de esta tesis y los dos primeros temas de este (capítulo III), los procesos y técnicas a que se hace mención, son las más utilizadas actualmente. pero para cada obra en particular se seleccionará la que satisfaga las necesidades de proyecto. Por lo general en este tipo de obras, la supervisión contrata una empresa especializada en hacer los estudios de mecánica de suelos, con el fin de proporcionar información de cómo está constituido el terreno donde se cimentará la estructura, puede utilizarse cualquier procedimiento descrito en el capítulo II.2, debiendo entregar un registro típico de estratigrafía y propiedades del terreno, debiendo contar con lo siguiente:

- Método de sondeo realizado.
- Descripción de los materiales encontrados.
- Clasificación de los diferentes estratos encontrados de acuerdo con la SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos) y la profundidad a que fue encontrada.
- Propiedades índices y mecánicas de los suelos, con su respectiva memoria de cálculo y ensayos de laboratorio realizados.
- Informe que detalle el tipo de cimentación recomendada según el suelo encontrado y la estructura a construir.

Después del proceso anterior, se lleva a cabo el diseño de la cimentación profunda, de acuerdo con los requisitos con que debe de cumplir según los datos de entrada proporcionados por el cliente, y los reglamentos de construcción de la zona en que se trate y sus normas técnicas.

Una vez revisado y aprobado el diseño, se determina el proceso, constructivo a emplear, el equipo necesario, los materiales y recursos humanos, para poder establecer un presupuesto, revisarlo, aprobarlo y poder realizar los contratos necesarios para los subcontratistas y poder iniciar el proceso.

Durante los procedimientos de ejecución, estos estarán definidos por categorías de trabajo y tienen como objetivo, definir los elementos de acción necesarios para la ejecución de los trabajos y contribuir para la obtención de la calidad, estos procedimientos, pueden ser: las operaciones, que son el objeto del procedimiento; los recursos de personal y de equipo específico; los materiales, productos y componentes incluyendo, la calidad, el origen y la marca; el modo de operar, los métodos constructivos e instrucciones particulares, las relaciones entre procedimientos (interfaces técnicas); las condiciones del ejercicio de control, que son:

- Naturaleza de los controles y los encargados.*
- Referencias de los documentos de seguimiento para ser llenados.*
- Modalidades de realización de los ensayos de conveniencia.*
- Condiciones de gestión de los documentos de seguimiento de ejecución.*
- Condiciones de identificación de los materiales y productos sujetos a procedimientos oficiales de certificación de conformidad y modalidades de ejecución de los controles de conformidad para otros materiales y productos.*

Por ultimo, la lista de documento anexos al procedimiento, necesarios para la ejecución del trabajo correspondiente.

MEDICION, ANÁLISIS Y MEJORA.

Consiste en recopilar la información necesaria, para poder demostrar que el producto cumple con los requisitos especificados, que la implantación del sistema de gestión de la calidad se ha establecido y la evaluación del mismo para una posible mejora. La revisión se hace a través de auditorias de las diferentes áreas que se manejen y por personal ajeno a cada área en específico. Esta revisión debe realizarse en periodos planificados a través de todo el desarrollo del producto, una de las principales causas de la realización de este proceso es la detección de las no conformidades y sus causas, y tomar las acciones correctivas para eliminar la no-conformidad detectada. Además de que permite evaluar el sistema de gestión de la calidad y establecer acciones preventivas para prevenir la ocurrencia de las no-conformidades en lo futuro

En el periodo de medición, análisis y mejora, la supervisión determinara si se han cumplido las metas durante el proceso constructivo de la cimentación, si el sistema de gestión de calidad aplicado a cumplido con las metas especificadas, en el plan de aseguramiento de la calidad y los objetivos de la calidad, y sirve para identificar y dar tratamiento a las no conformidades.

En las obras civiles se entiende por una no conformidad a la insatisfacción de las exigencias especificadas o a la calidad requerida, se considera un defecto cuando las exigencias de utilización previstas no han sido satisfechas, suelen clasificarse las no conformidades en tres tipos.

Tipo 1. se trata de una conformidad que puede ser corregida para satisfacer las exigencias especificadas. La corrección es realizada por una practica común de ejecución en acuerdo con la supervisión. Ejemplos de este tipo de inconformidades son:

- *El armado esta fuera de posición y puede ser corregida directamente en el sitio.*
- *Varilla de acero faltante y colocada antes del colado.*
- *Ajuste de una cimbra previa al colado.*
- *Limpieza.*

Tipo 2. se trata de una no conformidad que puede ser aceptada por autorización con o sin reparación, eventualmente abarcada por un tratamiento por un procedimiento aceptado. El tratamiento de esta inconformidad induce estudios, memorias de calculo, planos, y un procedimiento de ejecución. Se necesitara un formato de no conformidad abierto y registrado por el autor, el cual será entregado por el contratista para recabar el visto bueno de la supervisión. Ejemplo:

- *Acero de empalme faltante después del colado.*
- *Acero mal habilitado necesitando una modificación.*
- *Oquedades menores después del descimbrado.*
- *Defecto de adherencia de una capa impermeable.*
- *Fisuración que se puede tratar por inyección.*

Tipo 3. se trata de una no conformidad que genera rechazo, o una demolición total o parcial. Ejemplo:

- *Resistencia del concreto insuficiente.*
- *Defecto de topografía.*
- *Elemento no conforme con la geometría.*

Deberán presentarse formatos de las no conformidades que incluirán:

- *Características y origen de la conformidad.*
- *La solución propuesta por la empresa para corregir la inconformidad y las acciones correctivas necesarias para evitar que se produzcan nuevamente.*
- *Observaciones de la supervisión.*
- *Resultados de las correcciones de las no conformidades.*
- *Los diferentes vistos buenos de la empresa y la supervisión.*

IV. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

Durante la realización de ésta tesis, se propuso inicialmente implantar un sistema de calidad, a una empresa constructora dedicada a la construcción de cimentaciones profundas, por tal motivo en la primera parte (capítulo II) se trato de recabar la mayor información posible acerca de la construcción de las cimentaciones profundas, de los procesos más comunes empleados en México y una secuencia que va desde los estudios preliminares hasta la construcción de la cimentación. En el capítulo tres se intento enfocarlo a todo lo relacionado con la calidad, iniciando con los materiales, para continuar con los procesos y por último la implantación de un sistema de calidad, para tal motivo se optó por escoger un sistema para el aseguramiento de la calidad basado en normas internacionales de ISO, y se seleccionó la norma mexicana equivalente (NMX—CC—9001:2000) en su última edición.

Inicialmente, se utilizaría la edición anterior, pero durante la investigación se detecto que había sido publicada la nueva edición, por lo que se tomó la decisión de revisarla y compararla con la anterior, seleccionar la última por estar actualizada ser la que estará en vigor al menos hasta la siguiente revisión, considerando que las revisiones de estas normas se realizan en un periodo aproximado de 5 años.

Al recabar la información necesaria para implantar un sistema de gestión de la calidad, se observa que ésta norma no es de carácter oficial y por tanto no es un requisito para que las organizaciones la implanten, a menos que sea estipulado por el cliente, en estos casos la norma puede ser de tipo contractual, si el cliente establece que para otorgar el contrato, la empresa debe contar con un sistema que asegure que el producto o servicio cumple con la calidad requerida.

Este tipo de normas, no establece la forma de realizar los procesos, simplemente establece los lineamientos para implantarlo en cualquier empresa sin importar el giro que ésta tenga, es decir, es independiente de cualquier sector industrial y económico, no trata de imponer uniformidad a los sistemas de calidad, está diseñado para implementar un sistema de calidad que estará influenciado por las necesidades de cada empresa, sus objetivos particulares, los productos o servicios que produce, los procesos y prácticas específicas empleadas.

Es aquí donde radica la dificultad del propósito original de la tesis, que era la de ejemplificar el proceso de implantación del sistema de gestión de la calidad, siendo que cada empresa tiene su propia forma de organización y administración, que varía en función de lo que produce la empresa, tomando en cuenta que en la industria de la construcción existe una gran variedad de procesos y cada una de las obras tiene un objetivo específico y condiciones particulares en lo que respecta al diseño, la construcción y el mantenimiento.

Por esta razón durante la elaboración del trabajo se describen los diferentes procesos y técnicas, que se pueden aplicar en los diferentes pasos para la construcción de una cimentación profunda. Para que al momento de adentrarse al tema concerniente con la calidad, y más en específico a la implantación de un sistema de gestión de la calidad, quien lea esta tesis relacione cada uno de los procesos correspondientes a la construcción de una cimentación profunda, con los requisitos que establece el sistema de gestión de la calidad.

La creación de normas busca establecer la uniformidad para la realización de productos y es aplicable a cualquier sector económico e industrial. Una norma es una regla que debe seguirse para lograr el cumplimiento de un objetivo. La mayoría de las normas mexicanas están basadas en normas desarrolladas en el extranjero, principalmente en los Estados Unidos. La adaptación a que se hace mención anteriormente obedece a que la tecnología utilizada en México es desarrollada en otros países, así como, los equipos y herramientas.

La principal acción de normalizar es crear un conjunto de especificaciones o normas técnicas adoptadas por común acuerdo entre productores y consumidores cuyo fin es el de unificar el uso de determinados productos y facilitar su fabricación.

El uso de normas y reglamentos, para la aplicación de técnicas o elaboración de productos, es utilizado en todas las ramas industriales, para garantizar que los productos o técnicas utilizadas cumplen con ciertas especificaciones que determinan su calidad.

La mayoría de las empresas que implantan un sistema de gestión de la calidad desean obtener la certificación, esta es la última etapa de la implantación de un sistema de gestión de la calidad, con lo cual demuestran que la organización cumple con los requisitos establecidos por las normas ISO a través de las auditorías de terceras partes. Este proceso puede resumirse en los siguientes diez pasos.

1. Tener funcionando el sistema de gestión de calidad.
2. Seleccionar un organismo certificador.
3. Solicitar fecha al organismo certificador.
4. Preparación de documentación y recursos necesarios para la auditoría.
5. Recibir preauditoría de certificación.
6. Recibir resultado de la preauditoría.
7. Llevar a cabo acciones correctivas necesarias.
8. Someterse a auditoría de certificación.
9. ¿Hay desviaciones? Si, regresar al punto 7. No, continuar paso 10.
10. Recibe certificación.

Al igual que en la implantación de sistemas de gestión de la calidad, hay normas internacionales de auditorías, que determinan los principios básicos de auditoría, criterios y prácticas para suministrar lineamientos para establecer, planear, llevar a cabo y documentar auditorías de sistemas de calidad. La auditoría es solicitada por la organización que requiera certificarse y acordada con el auditor a través de un contrato.

Una auditoría es un examen sistemático e independiente, actividad planeada y documentada llevada a cabo para determinar la efectividad de implantación, adecuación y cumplimiento con los procedimientos establecidos, instrucciones, dibujos, u otros documentos aplicables. Esto se realiza por medio de la investigación, examen, o evaluación de evidencia específica.

Las causas principales por las que una organización deba implantar un sistema de gestión de calidad y certificarse son:

1. Algunas empresas privadas y del sector central tanto nacionales como extranjeras lo exigen a sus proveedores.
2. Como estrategia de mercado, puesto que al contar con una certificación se amplían las posibilidades de obtener nuevos clientes.
3. Es un requisito indispensable para exportar productos, este punto no es aplicable a obras civiles, sin embargo, se puede interpretar como exportación de técnicas y procesos, o en su defecto indicaría que este sector es competitivo con otros países.

El tiempo necesario para la implantación de un sistema de gestión de la calidad se estima entre seis meses y tres años, dependiendo del tamaño de la organización, la complejidad de los procesos, el personal, entre otros; razón por la cual el costo varía según el tiempo que tarde en implementarse el sistema de gestión de la calidad, se tendrá que hacer una inversión en los siguientes conceptos:

1. Capacitación de personal encargado de establecer un sistema de gestión de calidad y realización de las auditorías internas.
2. Asesorías y consultoría.
3. Equipo de inspección y pruebas.
4. Costos de certificación, que incluyen: pre-auditoría de certificación, auditoría de certificación, emisión del certificado y auditorías de seguimiento.

Estos gastos originan que el costo de la obra se eleve durante la implantación del sistema de calidad, pues son considerados como gastos de administración. Si el sistema de gestión de la calidad es implementado con éxito y cumple con todos los objetivos por los cuales se estableció, se obtendrán resultados gratificantes para la organización, pues se reducirían gastos innecesarios producidos por las no conformidades, que en la industria de la construcción suelen ser muy elevados, además de cumplir con las expectativas de los clientes. El implantar un sistema de gestión de la calidad, obtener un certificado que lo acredite, es una carta de recomendación que garantiza la apertura de nuevos mercados.

La industria de la construcción, a diferencia de otros sectores industriales donde la mayoría de los productos se realizan en serie, el proceso suele ser repetitivo y la calidad puede controlarse de mejor manera. Llevar a cabo el control de la calidad suele ser más complicado en obras civiles, debido a que cada obra suele ser diseñada y llevarse a cabo según las características particulares de la misma, puesto que varía de acuerdo a condiciones como: meteorológicas, uso específico de la estructura, terreno, tamaño de la obra, reglamento de construcción, procesos constructivos, entre otros. Sin embargo, no impide que se pueda implantar un sistema de gestión de la calidad, este debe establecerse a manera de tener un control de calidad más estricto, a través de una supervisión

detallada que se encargue de garantizar el cumplimiento de las especificaciones requeridas y la eliminación de las no conformidades.

La organización de los controles constituye el principal elemento de la gestión de la calidad, estos son esencialmente de dos tipos: control interior (a la empresa) que a su vez se divide en control interno (autocontrol) y control externo; y el control independiente (de la supervisión)

El control interior es efectuado por los ejecutantes de la obra, de una empresa para sus tareas propias. Es parte del control interior de la empresa. El control interno se aplica a la elección y al suministro de materiales, productos o componentes, a los equipos y a las condiciones de fabricación, a los recursos y condiciones de traslado, maniobras y almacenamiento, a las condiciones de puesta en obras y de puesta en servicio.

El control externo da seguimiento y asistencia al control interno, realizados por un representante independiente de la dirección de obra de la empresa, es parte del control interior de la empresa.

El control independiente es realizado por la supervisión para verificar el control interior y vigilar la conformidad con las especificaciones

Los nuevos sistemas de calidad ISO 9000:2000 después de la revisión de 1994 buscan: Mayor facilidad de entendimiento y aplicación; mayor orientación a la satisfacción del cliente, la mejora continua y menor cantidad de normas congruentes entre sí. Además, son de gestión de la calidad con enfoque a procesos, entendiéndose por gestión a la actividad coordinada para dirigir y controlar una organización y por proceso al conjunto de actividades mutuamente relacionadas que interactúan, las cuales, transforman elementos de entrada en resultados.

En resumen un sistema de gestión de la calidad esta basado en ocho principios, que a continuación se mencionan:

1. Enfoque al cliente. La organización debe cumplir y superar las necesidades y expectativas requeridas por el cliente, es decir el cliente es lo más importante para la organización, por tal razón, el producto debe adaptarse a las necesidades del cliente y no el cliente a las del producto.
2. Compromiso de la dirección. La dirección debe establecer y unificar el propósito de la organización, deben crear y mantener un ambiente en el cual el personal se involucre completamente para lograr los objetivos de la organización.
3. Participación del personal. Permitir que el personal se sienta parte de la organización y brinde sus habilidades como compromiso con la calidad, para lo cual, es necesario que conozca los planes y objetivos de la calidad.
4. Enfoque basado en procesos. Identificar y gestionar los diferentes procesos, permite que el resultado deseado se logre de manera eficiente.
5. Gestión enfocada a sistemas. Identificar, comprender y administrar un sistema de procesos interrelacionados para un objetivo dado, mejora la eficacia y eficiencia de la organización.
6. Mejora continua. Es el principal objetivo de la organización, un sistema de gestión de la calidad esta diseñado para que se logre la mejora continua.

7. Enfoque objetivo hacia la toma de decisiones. Contar con la información y documentación necesaria es la mejor estrategia para la toma de decisiones.
8. Relaciones mutuamente benéficas con el proveedor. Una organización y sus proveedores son independientes y las relaciones mutuamente benéficas intensifican la capacidad de ambos para crear valor.

Sin lugar a dudas, cualquier sistema de calidad, busca la mejora continua en la elaboración de sus productos, cumplir con todas y cada una de las expectativas de sus clientes, por tanto, eliminar las no conformidades y tener un control de la organización.

La documentación e información es la labor principal de quien desee implantar un sistema de calidad, es aquí donde se resumen las principales actividades de gestión de la calidad. Por lo que es necesario documentar cada uno de los procesos que se llevaran a cabo para la realización de una obra en específico.

Por lo general la realización de obras civiles esta basada en procesos, dentro de una la construcción de una cimentación profunda estos procesos son: estudios preliminares, diseño y construcción, la norma ISO 9000:2000 indica que un sistema de gestión de la calidad esta enfocado en procesos, es decir, estos procesos estan interrelacionados entre sí, ya que, a menudo el resultado de un proceso constituye directamente en el elemento de entrada del siguiente proceso, y es perfectamente aplicable a la construcción de cimentaciones profundas puesto que para realizar el diseño de la cimentación profunda, es necesario hacer los estudios preliminares pertinentes, de la misma manera, para llevar a cabo la construcción de la cimentación es necesario contar con un diseño que nos indique las características y especificaciones con que debe cumplir.

La mejor manera de llevar el control de cada uno de estos procesos es mediante la documentación, ya que, cada uno de los procesos se pueden gestionar de manera independiente, además de que cada uno de ellos debe cumplir con ciertos requisitos particulares.

La definición precisa de los controles, entendiéndose por ellos a la naturaleza y modo de operar, frecuencias, resultados por obtener, apellido y funciones de las personas encargadas del control, deben precisarse en los procedimientos de ejecución. Si estos procedimientos estan establecidos por la naturaleza de los trabajos, es posible agrupar los diferentes de los controles en el plan de aseguramiento de control.

La documentación por lo general se agrupara en manuales de calidad, que son, una serie de documentos en los cuales una empresa enuncia y describe las disposiciones tomadas por ella misma para establecer la calidad de sus productos o de la prestación de servicios, dentro de estos manuales se encuentra el manual de aseguramiento de calidad que describe las actividades generales prestables para satisfacer las exigencias del dueño de la obra, además de estos manuales se pueden elaborar manuales especificos para cada proceso.

Los documentos forman parte de lo que es el plan de aseguramiento de calidad, que describe las actividades, las responsabilidades y la organización especifica para un proyecto, adoptado por una empresa para satisfacer a las

exigencias de un contrato, estos documentos se pueden distribuir en dos etapas, durante la preparación de la obra y la ejecución de la misma.

Los documentos que están integrados en la etapa de preparación son: síntesis de organización general, el cual contiene la política de la calidad, los objetivos de la calidad y forma en que está organizada la empresa, mediante organigramas que presentan los responsables del cumplimiento del plan de calidad. Procedimientos de ejecución y formatos propuestos. Estos documentos enuncian los modos de operar, los recursos y la secuencia de las actividades correspondientes a una fase particular de un proyecto y la formulación de los documentos necesarios para su registro. Planes de control, estos documentos establecen las acciones para llevar a cabo el control, mediante la medición, reexaminación, ensayos y calibración, de una o varias características de un producto o servicio y de compararlas con las exigencias especificadas con objeto de obtener la confiabilidad del producto.

Los documentos que están integrados en la fase de ejecución de la obra son: Formatos de control, son documentos en los cuales se pueden llevar los registros de los controles para comprobar que se están llevando a cabo correctamente los planes de control. Formatos de no conformidad, estos tratan de la puesta conformidad de un defecto. Las no conformidades menores que pueden corregirse en obra con acciones correctivas inmediatas o pueden ser únicamente observaciones mencionadas en los documentos de seguimiento. Los expedientes de calidad, son resúmenes de reportes que facilitan el seguimiento de los registros efectuados durante los procesos y el flujo de la información para cualquier aclaración, y principalmente para comprobar que se llevaron a cabo de manera correcta los procesos.

BIBLIOGRAFIA.

CINC. Manual del Residente de Cimentación Profunda. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. México, 1987. p. 254.

CRESPO, V. Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Ed. Limusa, México, 1990. p. 639.

GRAUX, Daniel. Fundamentos de Mecánica de Suelos, Proyecto de Muros y Cimentaciones. Editores técnicos Asociados S.A. Barcelona España, 1975. p. 413.

IMCA. Manual de Construcción en Acero- DEP Diseño por Esfuerzos Permisibles, Volumen 1. Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. 3ª Edición. Ed. Limusa, México, 1997.

GONZÁLEZ G. Carlos. ISO 9000, QS-9000, ISO 14000. Normas Internacionales de Administración de Calidad, Sistemas de Calidad y Sistemas Ambientales. McGraw-Hill, México, 1999.

ISO 9001:2000 Quality Management Systems – Requirements.

ISO 9004:2000 Quality Management Systems – Guidance for performance improvement.

JUAREZ, Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos, Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Juárez. Ed. Limusa, 2000. p. 641.

JUAREZ, Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos, Tomo 2, Teoría y Aplicación de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa, 2000. p. 703.

LAMBE T. Williams . Mecánica de Suelos. Ed. Limusa-Wiley. México, 1972. p. 582.

NMX-B-113. Acero – Método de prueba – Doblado de productos terminados.

NMX-B-292-1988. alambre sin recubrimiento, relevado de esfuerzos, para usarse en concreto presforzado.

NMX-B-309. Nomenclatura para términos usados en los métodos de prueba mecánicos.

NMX-B-3172. métodos de prueba mecánicos para productos de acero.

NMX-B-434. Método de prueba para determinar el peso unitario y el área transversal de las varillas lisas y corrugadas para refuerzo de concreto.

- NMX-C-083-1997-ONNCCE. Industria de la construcción – concreto – determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
- NMX-C-155-1987. Industria de la construcción – concreto hidráulico- especificaciones.
- NMX-C-156-1997-ONNCCE. Industria de la construcción – concreto- determinación del revenimiento en el concreto fresco.
- NMX-C-161-1997-ONNCCE. Industria de la construcción – Concreto fresco - muestreo.
- NMX-C-162-ONNCCE-2000. Industria de la construcción – concreto- Determinación de la masa unitaria, calculo del rendimiento y contenido de aire por el método gravimetrico.
- NMX-C-407-ONNCCE-2001. Varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto.
- NMX-CC-001:1995 IMNC, ISO-8402:1994. Administración de la calidad y aseguramiento de la calidad – vocabulario.
- NMX-CC-002/1:1995 IMNC, ISO 9000/1:1994. administración de la Calidad y aseguramiento de la calidad. –Parte 1: Directrices para selección y uso.
- NMX-CC-002/4:1997 IMNC, ISO 9000/4:1993. Normas de administración de la calidad y aseguramiento de la calidad.- Parte 4: Directrices para la administración del programa de seguridad de funcionamiento
- NMX-CC-003:1995 IMNC, ISO 9001:1994. sistemas de calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad en diseño, desarrollo, producción, instalación y servicio.
- NMX-CC-004:1995 IMNC, ISO 9002:1994. sistemas de calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad en producción, instalación y servicio.
- NMX-CC-005:1995 IMNC, ISO 9003:1994. Sistemas de calidad – Modelo para el aseguramiento de la calidad en inspección y pruebas finales.
- NMX-CC-006/1:1995 IMNC, ISO 9004/1:1994, administración de la calidad y elementos del sistema de calidad. Parte 1: Directrices.
- NMX-CC-9000:2000. sistemas de gestión de la calidad – Principios y vocabulario.
- NMX-CC-9001:2000. sistemas de gestión de la calidad – Requisitos.

NMX-CC-9004:2000. sistemas de gestión de la calidad – Recomendaciones para la mejora del desempeño.

NMX-H-121. Procedimiento de soldadura estructural – Acero de refuerzo.

Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Cimentaciones. Berbera Editores S.A. de C.V. México, 1999. p. 277.

Reglamento de Construcciones Para el Distrito Federal. 23ª edición. Editorial Porrúa, México, 1999. p. 213.

SMMS. Manual de Cimentaciones Profundas. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A.C. México, 2001. p.376.

SOWERS B. George. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Ed. Limusa, Mexico,1990. p. 677.

T.KDerry, Trevor I. Williams. Historia de la Tecnología, volumen 2, desde 1750 hasta 1900 (I) 8ª edición, Ed. Siglo XXI, México, 1977. p.774.

T.KDerry, Trevor I. Williams. Historia de la Tecnología, volumen 3, desde 1750 hasta 1900 (II). T.K. Derry, Trevor I. Williams. 8ª edición, Ed. Siglo XXI, México, 1977. p. 1152.

WHITLOW. Roy Fundamentos de Mecánica de Suelos. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. p.588.