

**COMPARACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
UTILIZADOS COMO PILOTES**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

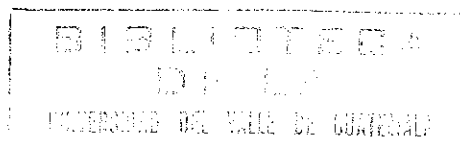


**COMPARACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
UTILIZADOS COMO PILOTES**

ALBERTO JOSÉ PÉREZ ZARCO

**Trabajo de Graduación presentado para optar
al grado académico de**

INGENIERO CIVIL




GUATEMALA

2000


Vo. Bo. :

(f)

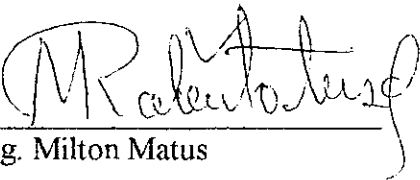

Ing. Héctor Valdez
Asesor

Tribunal:


(f)


Ing. Franklin Matzdez

(f)


Ing. Milton Matus

(f)


Ing. Héctor Valdez

Fecha de aprobación: 23 de Junio de 2000.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MI PADRE

Félix Ramiro Pérez Alvarado

**A LOS QUE COLABORARON EN LA REALIZACIÓN DE ESTE
TRABAJO**

Ing. Héctor Valdez

Ing. Franklin Matzdorf

**AL DEPARTAMENTO TÉCNICO DE SEAWARD INTERNATIONAL
INC.**

Allan Potts

Shelly Jobe

A LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

A mi familia

Contenido

Páginas

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	OBJETIVOS.....	2
	A. Generales.....	3
	B. Específicos.....	3
III.	JUSTIFICACION.....	4
IV.	ANTECEDENTES.....	5
	A. Elementos estructurales utilizados como pilotes.....	5
	1. Definición.....	5
	2. Colocación e hincado.....	6
	B. Materiales de construcción utilizados en la construcción de pilotes.....	9
	1. Concreto.....	9
	a. Cemento.....	9
	b. Agregados.....	9
	c. Trabajabilidad.....	11
	d. El intemperismo.....	11
	e. Ataque químico.....	12
	f. Contacto con agentes químicos.....	12
	g. Factores que influyen en la resistencia.....	13
	2. Acero para refuerzo.....	14
	a. Grados, tipos y control de laboratorio.....	14
	b. Medidas usuales.....	15

3.	Acero estructural.....	15
a.	Acero al carbono.....	16
b.	Aceros al carbono tratados térmicamente y aceros HSLA.....	16
c.	Láminas y flejes de acero para uso estructural.....	17
d.	Tubería para aplicaciones estructurales.....	18
4.	Madera.....	19
a.	Comportamiento bajo tensión.....	19
b.	Comportamiento bajo compresión.....	20
c.	Comportamiento bajo flexión.....	20
d.	Comportamiento bajo fuerza cortante.....	21
e.	Comportamiento bajo torsión.....	21
5.	Duralin™.....	22
a.	Características mecánicas y químicas.....	22
6.	Fibra de vidrio.....	25
a.	La fibra de vidrio.....	25
b.	El fibrado.....	25
V.	DESCRIPCIONES.....	28
A.	Tipos de Pilotes.....	28
1.	Pilotes de madera.....	28
2.	Pilotes de concreto fundidos “in situ”.....	31
3.	Pilotes de concreto precolados.....	36
4.	Pilotes de acero.....	40
5.	Pilotes de polietileno de alta densidad SEA-PILE™.....	44

VI.	CONCLUSIONES.....	51
VII.	RECOMENDACIONES.....	56
VIII.	BIBLIOGRAFIA.....	58
APÉNDICES		
A.	Referencias de diseño y pruebas de laboratorio para pilotes SEA-PILE™.....	60
B.	Características típicas de pilotes SEA-PILE™ de fabricación estándar.....	75
C.	Especificaciones para el hincado de pilotes según AASHTO.....	85

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala ha crecido en los últimos veinte años de una manera impresionante, trayendo consigo un sin fin de necesidades las cuales se deben satisfacer. La construcción no se puede excluir de esta problemática, por lo que la necesidad de infraestructuras de servicio como lo son los muelles y algunas otras instalaciones marinas, así como la necesidad de ampliar nuestra área de construcción sobre suelos no idóneos, nos ha llevado a la utilización de elementos estructurales que nos faciliten o por lo menos nos permitan hacer nuestro trabajo.

Entre estos elementos estructurales se encuentran los pilotes. Los pilotes se emplean cuando los estratos del suelo inmediatamente debajo de la estructura no son capaces de soportar la carga por ella transmitida, con la seguridad o los asentamientos tolerables. Los pilotes se han utilizado desde la época de los griegos dando excelentes resultados. En Guatemala su utilización ha visto un incremento ya sea para pasos a desnivel, puentes, estabilización de taludes o estructuras marinas.

Varios tipos de pilote pueden ser descritos, cada uno con sus ventajas y desventajas pero casi todos con características propias que los hacen idóneos para ciertos usos. Podemos mencionar algunos tipos de pilotes tradicionales como los de concreto, acero y madera

Durante décadas no se habían introducido nuevas técnicas ni materiales a este tipo de elemento estructural, hasta el principio de los noventa, con la utilización de polietileno de alta densidad (HDPE) el cual con agregados químicos se transforma en DURALIN™ y fibra de vidrio para la elaboración de pilotes.

El presente trabajo profesional no pretende ser un manual de diseño de pilotes, sino únicamente trata de comparar algunos tipos de pilotes “tradicionales”, con estos de nueva generación, con la intención de facilitar la elección del tipo de pilote a utilizar, así como dar una idea de la viabilidad en el uso de este tipo de materiales no utilizados en nuestro medio hasta la fecha.

Este trabajo compara varios pilotes desde un punto de vista general dando sus ventajas así como sus desventajas, para que basados en ésto podamos tener una mejor noción del tipo de pilote que necesitamos para satisfacer nuestras necesidades

estructurales y económicas. Además este trabajo nos indica y pone especial atención a los usos en los que los pilotes de DURALIN™ debido a sus características propias podrían ser una solución viable.

II. OBJETIVOS

A. Objetivos Generales

- Dar una idea de los principales tipos de pilote que existen, así como de algunos de los usos de cada uno de ellos.
- Proporcionar algunos lineamientos que ayuden a la selección del pilote que se adapte a nuestras necesidades
- Abrir el campo a nuevos productos en la industria de la construcción.

B. Objetivos Específicos

- Comparar los pilotes SEAPILE™ con los pilotes tradicionales utilizados en Guatemala.
- Señalar los posibles problemas de cimentación donde los pilotes SEAPILE™ sean una solución recomendable.
- Hacer ver que de material reciclado pueden fabricarse materiales de construcción de gran calidad, de gran ayuda a la ecología así como a la construcción.
- Dar a conocer las características generales del DURALIN™

III. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo profesional se fundamenta en varias razones. La necesidad de investigar sobre nuevos materiales, así como el incremento en la utilización de pilotes para resolver problemas de cimentación, se pueden tomar como los puntos principales. No podemos dejar afuera el hecho de que debido a la gran variedad de tipos de pilote existentes, es difícil la elección del adecuado a nuestras necesidades, por lo que exponer las características de los mismos es de gran ayuda en la elección, más aun cuando se agregan las características de un tipo de pilote de nueva generación, el cual a parte de ser muy viable para ciertos casos, proviene de material reciclado lo cual lo hace aun más atractivo. Si comparamos entre sí estos tipos de pilote, nos puede abrir las puertas hacia una elección correcta y por lo tanto facilitarnos el trabajo.

La tecnología en el campo de la construcción avanza a pasos agigantados, lo cual podemos ver en productos como la fibra de carbono para reforzar estructuras de concreto o en este caso la transformación de botellas de plástico usadas, en pilotes.

La utilización de este tipo de materiales alrededor del mundo se ha vuelto cada día mayor, por lo que es necesario que en Guatemala estemos familiarizados con esta tecnología que nos trae día tras día materiales más resistentes, durables y ecológicamente amigables.

IV. ANTECEDENTES

A. Elementos estructurales utilizados como pilotes

1. Definición

Cuando el suelo situado al nivel donde se plantarían normalmente las zapatas o cimientos de una edificación, es demasiado débil y no llena los requisitos de carga de la construcción, es necesario transmitir estas cargas a estratos con materiales más adecuados a mayor profundidad por medio de pilotes o pilas de cimentación (4).

Los pilotes son miembros estructurales con un área de sección transversal pequeña comparada con su longitud, y usualmente se instalan al utilizar una piloteadora que tiene un martinete o un vibrador. A menudo se hincan en grupos o filas, que contienen cada uno suficientes pilotes para soportar una sola columna o muro.

Las columnas con poca carga pueden necesitar de un sólo pilote. Sin embargo, ya que en las condiciones del trabajo de campo, la posición real de un pilote puede quedar a varios centímetros de la posición proyectada, difícilmente pueden evitarse las cargas excéntricas, en consecuencia, las cabezas de los pilotes aislados usualmente se arriostan en dos direcciones por medio de contratraves. Si sólo se necesitan dos pilas, las cabezas se unen con un cabezal de concreto, siendo arriostradas sólo en una dirección, perpendicular a la línea que une los dos pilotes. Los grupos que contienen más de dos pilotes están provistos de cabezales de concreto reforzado y se consideran estables sin la necesidad de contratraves (6).

También se pueden utilizar los pilotes en forma vertical para resistir cargas laterales; como por ejemplo en barreras de protección para muelles o debajo de una alta chimenea sujeta a cargas de viento.

En la mayoría de tipos de pilotes verticales la capacidad a carga axial es mucho mayor a la capacidad a carga lateral. Cuando es necesario soportar grandes cargas

laterales es posible utilizar pilotes inclinados. Las inclinaciones de 1 horizontal por 3 vertical representan aproximadamente la máxima inclinación que puede obtenerse con el equipo ordinario de hincado. La economía favorece usualmente las menores inclinaciones, aunque tenga que usarse un mayor número de pilotes (9).

Pilotes se pueden encontrar o fabricar de varios materiales como de madera, concreto, acero y como se puede ver en este trabajo de polietileno. Cada uno con sus ventajas y desventajas, pero siempre con un mismo concepto estructural, así como los mismos principios de análisis y diseño, con las únicas variantes de las características mecánicas y estructurales de los materiales. Además se puede utilizar métodos de colocación e hincado similares para todos ellos.

2. Colocación e hincado

La colocación e hincado de los pilotes es un proceso al que se le debe dar gran importancia, ya que si un pilote es mal hincado o llegase a ver algún problema en el hincado, podría echarse a perder el pilote, sin importar el diseño del mismo, ni el material del que está fabricado.

Los pilotes se hincan principalmente por medio de un martinete o un generador de fuerzas vibratorias, esto depende de las características del suelo y del pilote.

El martinete funciona en medio de un par de guías paralelas, suspendidas de una grúa elevadora estándar. En la parte inferior de la grúa las guías son conectadas por medio de un miembro horizontal, llamado marcador, éste puede alargarse o acortarse para permitir el hincado de pilotes inclinados y para poder poner a plomo las guías cuando se está hincando un pilote vertical, ya que es de gran importancia que el pilote quede lo más a plomo posible. Al martinete lo guían axialmente rieles incorporados a las guías (3).

Originalmente las piloteadoras estaban equipadas con martinetes de gravedad, los cuales únicamente caían desde el extremo superior de las guías. Hoy en día la mayor parte de los martinetes son de impacto, de vapor o de diesel.

Los martinetes de vapor tienen un martillo que es levantado por la presión de vapor y se deja caer por gravedad. El vapor se puede sustituir por aire comprimido; a este

tipo de martinete se le llama de acción sencilla, ya que la caída se debe únicamente a la gravedad. Si a la presión del vapor o aire comprimido se suma a la energía que va hacia abajo, el martinete, depende de su construcción, se le llama de doble acción o diferencial (6).

El martillo de los martinetes tipo Vulcan golpean un amortiguador colocado en la base del martinete.

El objeto original de estos amortiguadores era proteger al martillo de los esfuerzos de impacto. En otros tipos de martinete, el martillo golpea directamente en la base o yunque. La cabeza del pilote está protegida por un cabezote para hincar, suspendido de la base del martinete. Entre el cabezote y el pilote también se puede colocar un amortiguador. Estos aditamentos no solamente protegen la cabeza del pilote, sino además tiene una influencia importante en las ondas de esfuerzo desarrolladas durante el hincado. La selección de los amortiguadores influye en la profundidad a la que puede hincarse el pilote y en cierta forma en su capacidad de carga (9).

Propiedades de Martinetes Comunes para Hincar Pilotes

Marca	Modelo	Tipo	Energía nominal (en kg-m)	Golpes por minuto	Carrera en cm.	Peso del martillo en kg.
Vulcan	2	S	1004	70	74	1361
MKT	9B3	DB	1201	145	43	726
MKT	10B3	DB	1811	105	48	1361
Vulcan	1	S	2074	60	91	2268
Vulcan	50C	DF	2088	120	39	2268
MKT	DE-20	DE	2212	48	244	907
Link-Belt	440	DE	2516	86-90	94	1814
MKT	11B3	DB	2648	95	48	2268
Raymond	65C	DF	2696	100-110	41	2948
Vulcan	6	S	2696	60	91	2948
MKT	DE-30	DE	3100	48	244	1270
Delmag	D-12	DE	3111	42-60		1247
Vulcan	0	S	3370	50	99	3402
Kobe	K13	DE	3373	45-60	259	1302
Vulcan	80C	DF	3380	111	41	3629
Vulcan	8	S	3595	50	99	3629
Link-Belt	520	DE	3636	80-84	110	2300
MKT	DE-40	DE	4424	48	244	1814
MKT	S10	S	4493	55	99	4536
Vulcan	10	S	4493	50	99	4536
Raymond	0	S	4493	50	99	4536
Vulcan	140C	DF	4977	103	39	6350
Delmag	D-22	DE	5439	42-60		2200
Raymond	000	S	5613	50	99	5670
Kobe	K-22	DE	5710	45-60	259	2200
Vulcan	O14	S	5807	60	91	6350
Vulcan	O16	S	6740	60	91	7371

S= De vapor de acción sencilla

DB= De vapor de doble acción

DE=De diesel

DF=De vapor diferencial

B. Materiales de construcción utilizados en construcción de pilotes

1. Concreto

Se define como concreto a la mezcla en proporciones adecuadas de sus componentes esenciales que son: cemento, agregados y agua, los que al endurecer (fraguado) forman un material pétreo de estructura sólida (5).

a. Cemento

Existen varias clases de cementos Portland, actualmente cinco del tipo estándar, el normalmente usado en la construcción, es el de clase "I" u ordinaria, que al mezclarse con agua, se considera alcanza una resistencia máxima a los 28 días; si bien con el uso de aditivos esta resistencia puede alcanzarse en menor tiempo, sin menoscabo de la calidad del concreto, y se obtienen por lo general, buenos resultados.

Las especificaciones estándar para Cementos Portland de la ASTM (C- 150) indican las normas de los cinco tipos de cemento siguientes:

Tipo I : El producto estándar de amplio uso y sin limitaciones en las proporciones de los óxidos principales (CaO, SiO₂, Al₂ O₃, Fe₂ O₃).

Tipo II : Cemento moderado, calor intermedio, entre el tipo I y el cemento de bajo calor (tipo IV). Este también posee un grado moderado de resistencia al ataque de los sulfatos debido a ciertas limitaciones en su composición.

Tipo III : El Cemento Portland de alta resistencia inicial.

Tipo IV : Cemento Portland de bajo calor.

Tipo V : Cemento Portland resistente a los sulfatos mediante límites apropiados en su composición.

Existe también una especificación para el Cemento Portland inclusor de aire (ASTM C-175) aplicable a cementos Portland que incluyen aire, de tipos correspondientes a los tipos I, II y III antes mencionados. Estos cementos son identificados como tipos IA, IIA y IIIA. La propiedad de incluir aire se obtiene moliendo con el clinker el agente inclusor. Con la introducción artificial de burbujas de aire finamente divididas y distribuidas en forma uniforme en todo el producto, se aumenta la trabajabilidad , disminuye la densidad, incrementa la durabilidad, reduce el afloramiento y la segregación y reduce el contenido de arena en la mezcla. El contenido de aire óptimo es 9% de la fracción de mortero del concreto. La inclusión de aire en exceso del 5 al 6% de la mezcla total debilita la resistencia del concreto en forma proporcional (5).

b. Agregados

En cuanto a los agregados del concreto se les clasifica en general, en fino y grueso, el fino es la arena. El agregado grueso es aquel que es predominante retenido por el tamiz No.4 (10).

A los agregados también se les clasifica por su forma de la siguiente manera:

- a) Canto Rodado
- b) Triturado
- c) Canto Rodado-Triturado.
- d) El agua

El agua se requiere en la producción del concreto a fin de precipitar la reacción química con el cemento, para humedecer el agregado y lubricar la mezcla para una fácil manejabilidad.. El agua que contiene ingredientes nocivos, contaminación, sedimentos, aceites, azúcar o químicos es dañina para la resistencia y propiedades de fraguado del cemento (5).

Concretos de calidad pueden obtenerse incluso con agua de mar, en lugares donde la obtención de agua fresca es dificultosa. Este concreto puede ser utilizado en estructuras de concreto reforzado, aunque su empleo puede aumentar los riesgos de corrosión. Sin embargo, estos pueden reducirse si al refuerzo se le provee de suficiente recubrimiento, si el concreto es impermeable y contiene una cantidad adecuada de aire incluido. Se debe tomar en cuenta que el agua de mar antes de ser utilizada debe llenar ciertos requisitos y pasar ciertos exámenes químicos para poder predecir reacciones químicas no deseadas.

c. Trabajabilidad

La ASTM C 125-66 define la trabajabilidad del concreto como la propiedad que determina el esfuerzo requerido para manejar una cantidad de concreto fresco con pérdida mínima de homogeneidad.

Varios son los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto, entre los más importantes son los siguientes:

- a) Proporcionamiento de los agregados.
- b) Contenido de aire atrapado.
- c) Contenido de agua.

d. El intemperismo

La desintegración del concreto por intemperismo es causada principalmente por la acción de la lluvia, así como por las contracciones que éste sufre al humedecerse y secarse consecutivamente. Estos efectos pueden ser controlados en la obra mediante la elección adecuada y cuidadosa de los materiales en toda la fase de elaboración del concreto.

En resumen, entre más impermeable sea el concreto, más dificultad presentará a la penetración del agua y mayor será su resistencia a su acción desintegrante (10).

e. Ataque químico

El deterioro del concreto es atribuido a las reacciones de los álcalis del cemento y contribuyentes minerales de los agregados que presentan algunas características que pueden observarse tales como:

- a) Agrietamiento en formas irregulares y en escala bastante grande;
- b) Expansiones internas.
- c) Grietas que pueden ser anchas en la superficie del concreto pero penetran poco dentro de la masa de éste.
- d) Exudación gelatinosa.
- e) Zonas periféricas de reactividad, o exudaciones periféricas que al infiltrarse alteran las partículas del agregado.
- f) Apariencia yesosa apagada de las fracturas recientes.

f. Contacto con agentes químicos

El ataque por agentes químicos se puede presentar en una de las tres formas siguientes:

a) Corrosión del concreto, como consecuencia de que ciertos productos químicos disueltos en agua son arrastrados por ésta. El ataque por los ácidos orgánicos e inorgánicos pertenecen a este grupo (10).

El arrastre que el agua hace de estos ácidos puede perjudicar grandemente la calidad del concreto. La eflorescencia o depósitos blancos que se ven frecuentemente en superficies expuestas de concreto, son el resultado de este tipo de ataque.

b) Ciertos agentes se combinan con el cemento y producen de esta forma compuestos poco solubles, que pueden debilitar el concreto, especialmente porque su volumen es mayor que el de la pasta de cemento de la que formaron parte.

En este caso, la desintegración puede atribuirse a dos factores, uno químico y otro físico (10).

Las sustancias agresivas más importantes que afectan las estructuras de concreto son los sulfatos de sodio, magnesio y calcio. Estas sales, denominadas álcalis blancos, se pueden encontrar en las aguas subterráneas y suelos alcalinos (10).

c) El concreto sujeto a constantes cambios de humedad, así como al ataque de sales como el carbonato de sodio, puede presentar una desintegración superficial al cristalizar en los poros de éste. Tal acción parece ser más de tipo físico que de tipo químico. En todo caso los concretos que estarán expuestos a soluciones perjudiciales que contengan sulfato, deben cumplir con lo especificado en la sección 4.2.6 del Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI-318, y deberá fabricarse con cemento resistente a los sulfatos conforme a 4.7.2 del mismo reglamento (10).

g. Factores que influyen en la resistencia

a) Relación agua - cemento

El factor más importante que interviene en la resistencia del concreto es la relación agua – cemento, pues si se establecen el máximo admisible de esta relación, el concreto corrientemente alcanza una resistencia requerida adecuada a la compresión. La resistencia a la tracción y adherencia, se afectan de igual forma.

b) Curado

Otro de los aspectos importantes en la resistencia del concreto es sin duda el curado, pues dependiendo de la calidad de la mezcla y del curado, pueden obtenerse resistencias a la compresión hasta de 10000 lbs/pulg².

2. Acero para refuerzo

El acero se caracteriza generalmente por su límite de fluencia, el cual determina su grado. El acero para reforzar concreto se aplica en diferentes formas, aunque la más común es la varilla corrugada y se fabrica en frío o en caliente. La diferencia que caracteriza a la varilla fabricada en frío de la fabricada en caliente, parece ser que mientras la primera no tiene un límite de fluencia bien definido, la segunda sí lo tiene.

Las varillas laminadas en caliente se pueden encontrar en el mercado con límites de fluencia entre las 33 000 lbs/pulg.² hasta las 75 000 lbs/pulg.².; cabe decir que existen aceros con límites de fluencia más altos, los cuales no son aplicables a la técnica del concreto reforzado.

En lo que se refiere a especificaciones que deberá cumplir el acero de refuerzo, en Guatemala son regularmente usadas las normas establecidas por ASTM (American Society for Testing and Materials) (10).

a. Grados, Tipos y Control de Laboratorio.

El índice de fluencia (f_y) es el esfuerzo que determina la clase de acero y a su vez influye en la resistencia de la sección del concreto reforzado.

En Guatemala los grados más usados de acero son: 33, 40, 60, que corresponden a un límite de fluencia de 33 000, 40 000, 60 000 lbs/pulg.². respectivamente. En nuestro medio el acero de grado 60 y 75, en proyectos normales es poco usado por su poca trabajabilidad, y además este grado se fabrica, generalmente en varillas del No. 11 al No.18 cuyo consumo es relativamente escaso en nuestro medio

Los diferentes tipos de acero para refuerzo del concreto están clasificados por la ASTM según el origen de este así:

Clase o tipo A615, especificaciones para tipos estándares para varillas de refuerzo del concreto, provenientes de lingotes de acero

- 1) Grado 40
- 2) Grado 60
- 3) Grado 75

Clase o tipo A616, especificaciones para tipos de varilla de refuerzo del concreto, provenientes de acero riel.

- 1) Grado 50
- 2) Grado 60

Clase 617, especificaciones para tipos de varillas de refuerzo de concreto, proveniente de acero eje.

- 1) Grado 40
- 3) Grado 60

La diferencia entre el acero de riel y el lingote, se establece por su trabajabilidad, siendo más trabajable el de lingote, y más difíciles los de riel y el de eje (10).

b. Medidas usuales

Las barras redondas, normalmente usadas para el refuerzo, van desde la No.3 (3/8) a la No.11(11/8”), en longitudes de 20,30 y 40 pies, aceptándose una tolerancia de 1” en la longitud total. Existen varillas de acero de menos de 3/8”, como las de ¼” o 3/16”.

3. Acero estructural

Los aceros destinados a usos estructurales pueden clasificarse por su composición química, sus propiedades a tensión y por los métodos de fabricación, en aceros al carbono, aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA por sus siglas en inglés), aceros al carbono tratados térmicamente, y aceros aleados para la construcción tratados térmicamente. Por la gran cantidad de aceros existente en este trabajo se tratarán únicamente los que sean de uso estructural general (2).

a. Aceros al carbono

Estos son los aceros más utilizados en la industria de la construcción, sus características las podemos enumerar así:

- a) El máximo contenido especificado para los elementos de aleación no sobrepasa las siguientes cantidades: manganeso 1.65%; silicio 0.60%; cobre 0.60%.
- b) El mínimo especificado para el cobre no sobrepasa el 0.40%.
- c) No se especifica un contenido mínimo para otros elementos añadidos con el fin de obtener un efecto deseado en la aleación.

El acero **A36** es el principal acero al carbono para puentes, edificios y muchos otros usos estructurales. Asimismo, éste proporciona un punto de cedencia mínimo de 36kip/pulg² en todos los perfiles y placas estructurales de hasta 8 pulgadas de espesor.

El acero **A573**, está disponible en tres grados de resistencia para aplicaciones de placas en las cuales es importante una tenacidad de ranura que haya sido mejorada (2).

b. Aceros al carbono tratados térmicamente y aceros HSLA

Tanto los aceros al carbono como los HSLA pueden tratarse térmicamente para proporcionar puntos de cedencia en intervalo de 50 a 75 kip/pulg². Esto suministra un nivel de resistencia intermedio entre los aceros HSLA laminados y los aceros aleados para construcción tratados térmicamente.

El **A633** es un acero de placa HSLA normalizado para aplicaciones donde se desea una tenacidad mejorada de muesca. Se halla disponible en cuatro grados con diferente composiciones químicas, y el punto de cedencia mínimo fluctúa entre 42 y 60 kip/pulg², si se depende del grado y del espesor.

El **A678** incluye aceros para placas, revenidos y templados (tanto al carbono como HSLA) con excelente tenacidad de muesca. También está disponible en cuatro grados con diferentes composiciones químicas; el punto de cedencia mínimo fluctúa entre 50 y 75 kip/pulg², cuando depende del grado y del espesor.

El **A852** es un acero HSLA para placas, revenido y templado del tipo de los aceros con autoprotección contra la corrosión. Esta destinado a utilizarse en puentes y edificios soldados y aplicaciones similares donde son importantes los ahorros de peso, la durabilidad y una buena tenacidad de muesca. Proporciona un punto de cedencia mínimo de 70 kip/pulg² en espesores de hasta 4 pulgadas. La resistencia a la corrosión atmosférica es generalmente 4 veces a la del acero al carbono (2).

c. Láminas y flejes de acero para aplicaciones estructurales.

Las láminas y flejes o tiras de acero se utilizan para muchas aplicaciones estructurales, al incluir miembros formados en frío destinados a la construcción de edificios y en revestimiento con capacidad portante de equipos de transporte .

El acero **ASTM A570** cubre siete grados de resistencia de láminas de acero al carbono laminado en caliente y sin recubrimiento. El **A466** cubre varios grados de láminas de acero al carbono, galvanizadas. Los diversos pesos de recubrimiento de zinc disponibles para láminas **A466** brindan excelente protección contra la corrosión en muchas aplicaciones.

El acero **A607**, disponible en 6 niveles de resistencia, cubre acero de alta resistencia, acero al cromo o al vanadio de baja aleación, o aleado con ambos elementos y láminas de acero laminados en frío o caliente. El material se puede encontrar en tiras, planos o en rollos. Está destinado a usos estructurales o misceláneos donde son importantes una mayor resistencia y un ahorro en peso. El **A607** está disponible en dos clases, cada una con seis niveles similares de resistencia, aunque la clase 2 ofrece mejores condiciones de formabilidad y soldabilidad que la clase 1. Sin adición de cobre, estos aceros tienen la misma resistencia a la corrosión atmosférica que el acero simple al carbono. Sin embargo, con cobre la resistencia a la corrosión es el doble de la del acero al carbono (2).

El acero **A709** es especificado por **AASHTO** para su utilización en pilotes al igual que el **A690** para ambientes marinos (11).

El **A606** abarca las láminas y flejes hechos con aceros de alta resistencia y baja aleación, producidos en caliente y frío, con resistencia aumentada a la corrosión. Este material está destinado a usos estructurales o misceláneos donde son importantes los ahorros de peso o la alta durabilidad. Está disponible en láminas o flejes planos o en bobinas, tanto en tipo 2 como en tipo 4, cuya resistencia a la corrosión es de 2 a 4 veces respectivamente la del acero simple al carbono (2).

d. Tubería para aplicaciones estructurales.

La tubería estructural se está utilizando cada vez con mayor frecuencia en la construcción moderna. A menudo se prefiere su uso que el de otros miembros de acero cuando se requiere resistencia a la torsión, y cuando se prefiere por razones estéticas una sección lisa y cerrada. Además, con frecuencia la tubería estructural puede ser de opción económica para miembros a compresión sometidos a cargas que van de medianas a livianas. La tubería cuadrangular y rectangular se fabrica a partir de tubos redondos, soldados o sin costura, modificando su forma en frío o en caliente en un proceso continuo. La tubería de acero al carbono formado en frío **A500** se produce en cuatro grados de resistencia en cada una de las dos formas del producto, perfilado (cuadrangular o rectangular) o redondo. Un punto mínimo de

cedencia superior a 46kip/pulg^2 está disponible para los tubos perfilados y superior a 50kip/pulg^2 para los tubos redondos.

La tubería A501 es un producto de acero al carbono formado en caliente. Presenta un punto de cedencia igual al del acero A36 en tubos que tienen un espesor de pared de 1 pulgada o menos.

La tubería A618 es un producto HSLA formado en caliente. Proporciona un punto mínimo de cedencia de 33 a 50kip/pulg^2 , depende del grado y del espesor de la pared. Los tres grados tienen resistencia mejorada a la corrosión atmosférica. Los grados Ia e Ib pueden utilizarse sin revestimiento para muchas aplicaciones cuando están expuestos apropiadamente a la atmósfera (2).

4. Madera

La madera, como sustancia viva está formada por células. Las células de la madera son de forma tubular, más o menos rectangular. De la composición y ordenamiento de estas células provienen las características mecánicas de la madera. Por su tipo de estructura la madera es a diferencia de los demás materiales mencionados en este trabajo, heterogénea y anisótropa. Por ello que sus características mecánicas varían de un punto a otro dentro del mismo árbol.

En la madera se pueden idealizar tres direcciones mecánicas o estructurales, perpendiculares entre sí, que coinciden con las direcciones longitudinal, radial, y tangencial del árbol. Las propiedades en la dirección tangencial y radial no varían significativamente por lo que sólo se tomarán dos direcciones para éste estudio; entre propiedades paralelas y propiedades perpendiculares a las fibras.

Realmente es muy difícil tratar las características estructurales de la madera debido a que estas varían de especie en especie por lo que trataremos el tema en forma general (8).

a. Comportamiento bajo tensión

La máxima resistencia a la tensión la encontramos en la dirección paralela a las fibras, la cual puede ser cuarenta veces mayor que la resistencia encontrada en la dirección perpendicular a las fibras. En la madera la resistencia a la tensión suele ser superior a que la resistencia a las demás acciones mecánicas, aunque ésta es muy sensible a los defectos y a las irregularidades en la orientación de las fibras. Se deben tomar otros factores como la humedad de la madera, la densidad de la especie, etc. Tenemos que para un contenido de humedad del 12% , las resistencias paralelas a las fibras varían entre 300kg/cm^2 y 3000kg/cm^2 (8).

b. Comportamiento bajo compresión

Con excepción de algunas maderas muy duras en las que la resistencia a la tensión es muy parecida a la resistencia a la compresión, podemos decir que esta última es entre un 50% a un 66% menor, siempre en la dirección paralela a las fibras. Esta diferencia se puede explicar debido al pandeo de las fibras individuales en la madera, cuyo comportamiento se puede comparar con una columna.

Aunque algunos tipos de madera muy duros poseen una buena resistencia a la compresión en dirección perpendicular a las fibras, suele considerarse que las resistencias obtenidas de probetas sometidas a compresión en dirección paralela a las fibras constituyen el mejor índice del comportamiento mecánico de la madera.

Las resistencias a compresión paralela a las fibras para un contenido de humedad del 10% varía de 100 a 1600kg/cm^2 (8).

c. Comportamiento bajo flexión

Para niveles bajos de carga la madera se comporta, a flexión como material elástico. A medida que la carga se aproxima a su valor máximo, la distribución de esfuerzos deja de ser lineal y la profundidad del eje neutro aumenta. Este comportamiento se debe a las diferencias en la relación esfuerzo-deformación de la madera sometida a compresión o a tensión. Por regla general las fallas por flexión se inician con el

aplastamiento de las fibras extremas sometidas a compresión, a la que sigue la rotura de las fibras en tensión.

Del ensayo de probetas “limpias” sometidas a flexión estática se obtiene diversos índices del comportamiento de la madera de importancia en el dimensionamiento de elementos estructurales.

Se acepta un comportamiento elástico hasta el momento de falla, lo cual no es rigurosamente cierto. Depende de la densidad de la madera de que se trata, los valores del módulo de rotura varían de 300 a 2100kg/cm² (8).

d. Comportamiento bajo fuerza cortante.

Se pueden distinguir varios tipos de esfuerzo cortante en la madera, de los cuales el más importante para el dimensionamiento estructural es el esfuerzo cortante paralelo a las fibras. Es difícil determinar la verdadera resistencia de la madera a estos esfuerzos ya que los resultados de los varios tipos de pruebas que se han utilizado están influenciados por los esfuerzos de tensión perpendiculares a las fibras que se generan simultáneamente. De una forma aproximada se puede decir que la resistencia de la madera al corte paralelo a las fibras es del rango del 10 al 15% de su resistencia a la tensión en la misma dirección. Se han encontrado valores que varían entre los 20 a 225 kg/cm². La resistencia de la madera a esfuerzos cortantes perpendiculares a las fibras es mucho mayor que su resistencia a esfuerzo cortante paralelo. La rotura en planos transversales no llega a presentarse porque antes falla, ya sea por esfuerzo cortante paralelo a las fibras o por aplastamiento en compresión de las fibras (8).

e. Comportamiento bajo torsión

La resistencia de la madera a esfuerzos producidos por torsión es del mismo orden que su resistencia al esfuerzo cortante paralelo a las fibras. El esfuerzo cortante por torsión en el límite de proporcionalidad es aproximadamente igual al 70% del esfuerzo cortante correspondiente a la falla (8).

5. DURALIN™

Duralin es un producto creado a partir de una matriz termoplástica; polietileno de alta densidad, el cual es obtenido 100% de plástico reciclado. Este plástico es tratado, si se agregan antioxidantes e inhibidores de rayos ultra violeta para retardar el efecto de estos en el plástico. Se crea así un producto de alta calidad y gran durabilidad (7).

El polietileno es un termoplástico que fue descubierto hace ya 50 años. Hay dos tipos de polietileno, de baja y de alta densidad. El polietileno de alta densidad o HDPE por sus siglas en inglés se obtiene a partir de etileno gaseoso el cual es inyectado en un solvente hidrocarbonatado con un catalizador. La creación del polímero ocurre a presión atmosférica, a una temperatura moderada. Luego se escurre y seca, para después separar el polímero (16).

a. Características mecánicas y químicas

El polietileno de alta densidad posee una excelente resistencia a los impactos en un rango de temperaturas que va desde -40 a 90 grados centígrados. Es resistente a una amplia gama de químicos, casi a todos los ácidos inorgánicos y orgánicos así como también a los álcalis a temperatura ambiente. Excelente resistencia a la humedad, totalmente insoluble en solventes orgánicos debajo de los 60 grados centígrados. Tiene una gran resistencia a los rayos ultra violeta, no es reactivo y únicamente puede ser atacado por ácidos oxidantes de gran poder (16).

El polietileno de alta densidad puede trabajar sin cambiar sus características mecánicas a temperaturas hasta de 130 grados centígrados, no es inflamable además no transmite calor. Otra de sus virtudes es que es casi 100% impermeable, no conduce electricidad a temperatura ambiente, no se puede cargar eléctricamente por lo que es anti-magnético (7).

Este tipo de plástico es ambientalmente amigable siendo 100% reciclable, no es tóxico, además su proceso de producción es relativamente sencillo y de bajo costo (13).

Propiedades típicas de Duralin.(7)

Propiedad	Según norma	Resultado
Densidad en piel	ASTM-D792	55-63 lbs/pie ³
Densidad en corteza	ASTM-E12	34-47 lbs/pie ³
Absorción de agua	ASTM-D570	0
Dureza	ASTM-D2240	50 (Shore D)

Propiedades mecánicas de Duralin.(7)

Propiedad	Según norma	Resultado
Tensión	ASTM-D638	860 psi
Compresión	ASTM-D953 A	M.C 46.8 ksi.
Abrasión Ciclos=10,000 Rueda=CS17 Carga= 1kg	ASTM-D4060	Peso perdido 0.0272g índice de abrasión 2.72
Dureza a la perforación	ASTM-D953 A	1.66ksi
Coefficiente de fricción	ASTM-F489	0.22 seco * 0.21 mojado *

* Es un coeficiente bajo si lo comparamos con el 0.8 que tiene la madera

Propiedades químicas de Duralin.(7)

Propiedad	Según norma	Resultado
Resistencia a rayos ultra violeta	ASTM-D4329 Lampara B	No se encontraron cambios luego de 500horas
Resistencia a químicos	ASTM-D543 En agua de mar	1.03% incremento de masa 0.84% incremento de grosor 0.37% incremento en el diámetro 45.1lbs fuerza de quiebre 906 psi presión de quiebre
	En gasolina	5.95% incremento de masa 0.65% incremento de grosor 0.76% incremento de diámetro 51.4lbs fuerza de quiebre 910 psi presión de quiebre
	En diesel	4.13% incremento de masa 1.04% incremento de grosor 0.76% incremento de diámetro 57.1 lbs fuerza de quiebre 1038 psi presión de quiebre
Productos tóxicos provenientes de su producción	EPA-SW846 modificado	Plata 0.00 ppm Arsenico 0.00 ppm Bario 0.00 ppm Cadmio 0.00 ppm Cromo 0.00 ppm Cobre 0.40 ppm Hierro 2.20 ppm Mercurio 0.00 ppm Plomo 0.00 ppm Selenio 0.00 ppm Zinc 0.70 ppm

6. Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio fue descubierta por los Egipcios para armar sus vasos y ánforas en las tumbas de los faraones. Después con otras tecnologías la fibra de vidrio llega bajo el impulso del grupo industrial Saint Gobain a Europa en 1665 (15).

a. La fabricación del vidrio

La fibra de vidrio está elaborada a partir de las materias primas tradicionales necesarias para la fabricación del vidrio: sílice, cal, alúmina y magnesita, procedentes de canteras cuidadosamente seleccionadas por la pureza de sus vetas y la constancia de composición de las venas de extracción. A esos constituyentes de base se añaden, según los tipos de vidrio, dosis extremadamente precisas de ciertos óxidos. El conjunto es llamado “composición”

Triturada finamente y amasada para conseguir una mezcla homogénea, introducida después a un horno de fusión , la composición pasa progresivamente al estado líquido. La temperatura del horno se sitúa alrededor de los 1550 grados centígrados (15).

b. El fibrado

El vidrio en fusión alimenta las hileras. Mantenido a 1250 grados centígrados, el vidrio se cuela por gravedad a través de placas con aleación de platino y rodio perforadas por varios centenares de orificios de uno o dos milímetros de diámetro.

A la salida de las hileras, los hilos de vidrio son estirados mecánicamente a gran velocidad para dar unos filamentos de 5 a 24 micras de diámetro, según las aplicaciones futuras.

Inmediatamente después de la fase de estirado y antes de reunirse para formar el hilo de base, los filamentos son revestidos de una dispersión acuosa de compuestos – generalmente orgánicos – llamada ensimaje (15).

Este ensimaje asegura la unión entre filamentos y la protección del hilo contra la abrasión, todo ello confiriéndole las propiedades indispensables a transformaciones futuras.

Los hilos destinados a refuerzo de resina reciben un ensimaje plástico conteniendo productos filmógenos pegables, antiestáticos, plastificantes y agentes de puente que permiten obtener muy buenas características de puesta en servicio o moldeado y asegurar una buena compatibilidad vidrio-resina.

El hilo de vidrio entra seguidamente en la parte final de su transformación, la del acabado: textil o plástico (14).

El acabado plástico el cual es de nuestro interés viene después de un tratamiento plástico para eliminar el agua residual y fijar los productos de ensimaje, la fibra de vidrio, es sometida a las transformaciones que conducen a las diferentes presentaciones en que las conocemos.

La fibra de vidrio es un material bastante resistente, muy amigable con el medio ambiente y además pesa relativamente poco. El proceso de fabricación es bastante sencillo y es casi 100% reciclable. Totalmente impermeable, no corrosivo, no magnético, y en estado normal no conductivo (14).

Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio.(7)

Propiedad	Según norma	Resultado
Tensión	ASTM-D638	Esfuerzo último de tensión 70,000 psi.
Flexión	ASTM-D790	Esfuerzo de flexión 70,000 psi.
Compresión	ASTM-D695	Esfuerzo de compresión 40,000 psi.

V. DESCRIPCIONES

A. Tipos de pilotes

Los pilotes son construidos en una gran variedad de tamaños, formas, y materiales para adaptarse a los múltiples requisitos especiales, entre ellos el económico. Debido a esto es difícil clasificarlos de una forma sencilla, pero pueden estudiarse desde el punto de vista del material del que están hechos.

1. Pilotes de madera

Desde el imperio romano quedó bien establecido el uso de los pilotes de madera; los detalles de las cimentaciones piloteadas fueron descritas por Vitruvio en el año 58 D.C. Probablemente los pilotes de madera son los más utilizados en todo el mundo, esto gracias a que bajo muchas circunstancias, proporcionan una solución estructural a un bajo costo. Su longitud está delimitada por la altura de los árboles disponibles; son comunes los pilotes de 12 a 18 metros de largo, en tanto pilotes de mayor tamaño no pueden obtenerse económicamente en todas partes.(3)

Los pilotes de madera no pueden soportar grandes esfuerzos de impacto al momento de ser hincados, en ocasiones necesario para penetrar estratos muy duros. Se pueden reducir los daños al usar cabezones amortiguados y en las puntas regatones de acero, pero, para un tipo de martinete, el peligro de romper el pilote puede reducirse mucho únicamente limitando el esfuerzo inducido en la cabeza del pilote y el número de golpes del martillo (3).

Los pilotes de madera rara vez se utilizan para cargas mayores de las 30 toneladas y hay regiones donde la carga está restringida a 25 toneladas, esto se debe a que no se pueden hincar en suelos de elevada resistencia sin sufrir daños. Además los pilotes de madera tienen la desventaja de depender mecánicamente de una alineación y composición celular, lo que los hace heterogéneos y anisótropos, por lo cual es muy difícil predecir su comportamiento y propiedades estructurales. El almacenamiento de los pilotes de madera debe ser cuidadoso, muchas veces no se toman en cuenta

los efectos que pueden tener los largos períodos de almacenamiento en los pilotes. La ubicación y la disposición de la obra determinará el tiempo y cantidad de veces que será manipulado el pilote antes de ser hincado. Estos factores así como los rayos directos del sol pueden hacer que los pilotes se deshidraten, a veces en forma irregular lo que hace que algunos pilotes que hayan pasado las pruebas de rectitud, se pongan tan curvos que se deban de rechazar. Es por esto necesario examinar los pilotes que tengan un largo tiempo de almacenados. Los pilotes deshidratados se vuelven quebradizos y se rompen con mayor facilidad al ser hincados (6).

Aunque los pilotes de madera pueden durar indefinidamente cuando están rodeados permanentemente por un suelo saturado, están sujetos a pudrirse arriba de la zona de saturación. Es importante señalar que los ciclos de humedecimiento y secado afectan más a los pilotes de madera que el hecho, de estar bajo agua. En algunos lugares, pueden dañarse o destruirse por insectos como las termitas. La vida útil de los pilotes de madera puede aumentarse en forma significativa, si éstos son tratados a presión con creosota. La duración efectiva con este tratamiento todavía no se ha determinado bien, pero puede ser superior a los 40 años (6).

Los pilotes de madera no deben usarse en aguas saladas o estancadas ya que estos son atacados por organismos marinos como el teredo y la limnoria. Además por ser un material orgánico puede ser atacado por la contaminación de las aguas ya sea por cualquier tipo de ácido, agentes corrosivos, combustibles, etc.

El deterioro puede ser completo en un par de años y si las condiciones son extremadamente desfavorables en unos cuantos meses. El tratamiento químico parece no tener buenos resultados bajo éste tipo de agresiones. También se debe tomar en cuenta que el tratamiento químico es un tratamiento exterior en la madera por lo que cualquier golpe puede dejar al descubierto partes no tratadas lo que aceleraría el deterioro de la pieza (3).

Por lo tanto los pilotes de madera no deben ser utilizados donde queden expuestos a aguas saladas abiertas a menos que se compruebe mediante una investigación completa, que no existen organismos destructivos, ni agentes químicos agresivos a la madera y aun así se deben tomar todas las precauciones respectivas (3).



Foto # 1. Deterioro de pilotes de madera en zonas marinas (7).

2. Pilotes de concreto fundidos in situ.

Poco después de 1900 se idearon varios tipos de pilotes de concreto. Los pilotes de concreto se pueden dividir en dos categorías: los colados in situ, y los precolados.

Los pilotes colados in situ se concibieron por razones de economía; estos comprenden un sistema de pilote en el que un casquillo o molde de acero de calibre delgado se reviste sobre un mandril y tal ensamblaje se hinca en el suelo. Luego el mandril se retira y el molde se rellena de concreto, para constituir un pilote. A este tipo de pilote se le conoce como “Pilote Raymond”.

El molde puede ser tan delgado que su resistencia se desprecia al momento de calcular la capacidad estructural del pilote, sin embargo, debe tener la resistencia necesaria para que no sufra colapso bajo la presión del terreno que lo rodea antes de que se llene con el concreto. Los forros muy delgados y los tubos no pueden ser hincados sin el uso de un mandril, que en sí es una fuente de gastos y a veces causa problemas en la construcción (3).

El no utilizar el forro o ademe disminuye los costos de los materiales de los pilotes, por lo tanto su utilización trae incentivos económicos. Varios de los primeros tipos se formaron hincando un tubo abierto en el terreno, limpiándolo, y llenando la perforación al ir sacando el tubo. Lastimosamente estos pilotes tienen imperfecciones y aun discontinuidades, por lo que su uso no es muy recomendado.

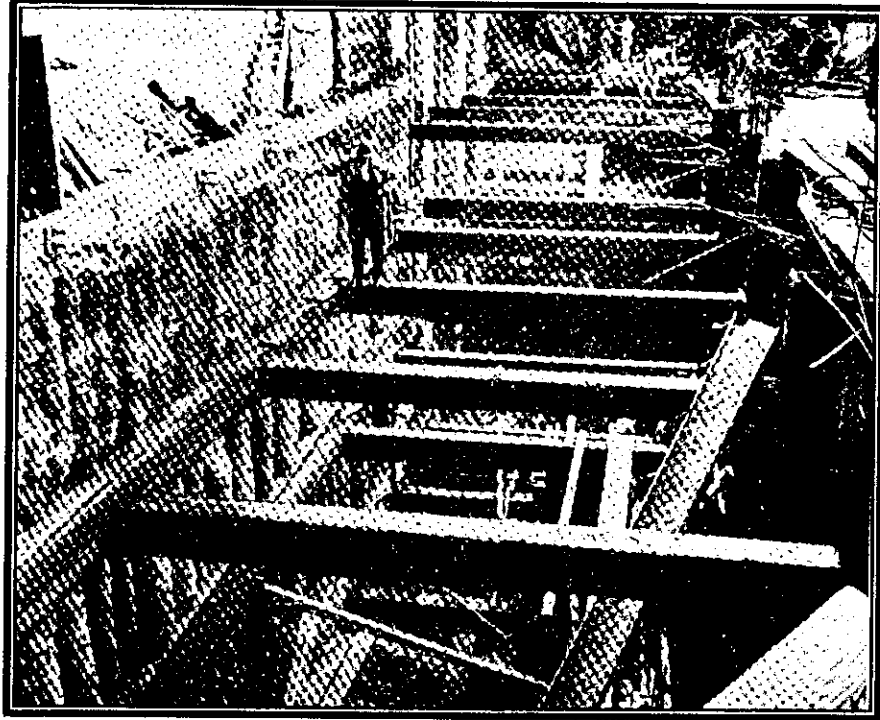
Para perfeccionar este tipo de pilotes se utilizaron medios más convencionales, por ejemplo el pilote sin ademe tipo FRANKI, en el cual se deja caer un martinete de gravedad en una masa de concreto en la parte inferior del tubo de hincado; el rozamiento entre el concreto y el tubo, hinca el tubo en el terreno. Cuando se ha alcanzado la profundidad necesaria, se levanta ligeramente el tubo de hincado y se sostiene para que penetre más al alimentar concreto, en tanto que el martillo golpea constantemente para que el concreto penetre en el terreno y forme un pedestal. Luego se saca el tubo progresivamente mientras se inyectan cantidades adicionales de concreto, compactándolo para formar el fuste del pilote, que presenta la superficie áspera donde queda en contacto con el suelo. La variante con ademe o

forro se forma de la misma manera hasta que se crea el pedestal. Luego, se inserta un forro de acero corrugado en el tubo para hincar, se coloca un tapón de concreto en el fondo del forro, sobre el pedestal, y se hinca para que arrastre al forro dentro de la parte superior del pedestal aun no-fraguado. Se saca el tubo para hincar y el resto del forro se llena de concreto. También podemos hablar del tipo de pilote colado en una perforación previa, la cual da problemas con el colapso de las paredes de la perforación antes de poder colar el concreto, este tipo de pilotaje es muy utilizado en Guatemala , ya que este método tiene una gran ventaja económica respecto de los demás pilotes fundidos “in situ”. La perforación puede hacerse a mano o con la ayuda de maquinaria especializada (6).

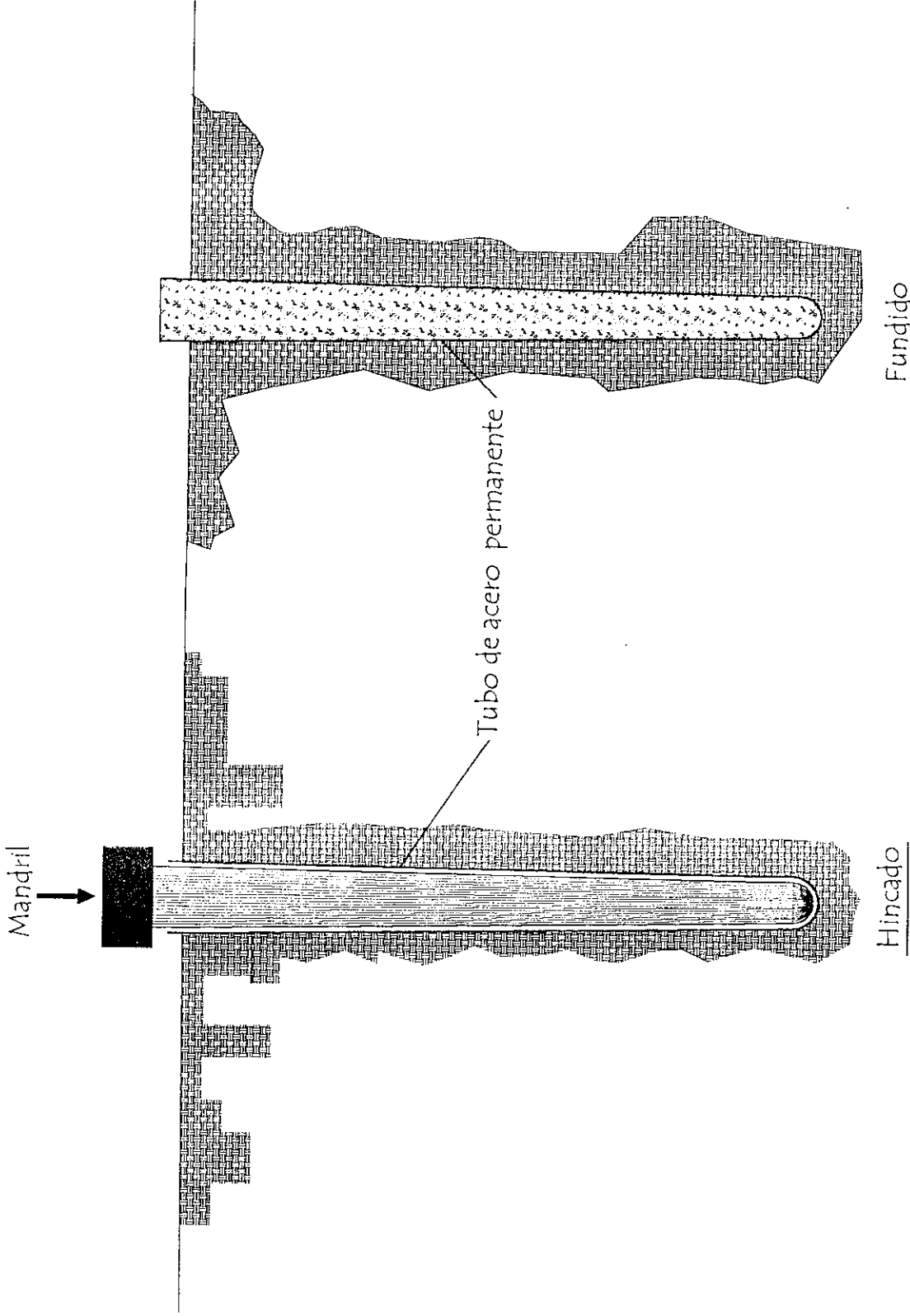
Se deben tomar en cuenta en todos los tipos de pilote colado in situ, que se pueden encontrar dificultades con el refuerzo de acero, ya que éste causa cierta obstrucción al colado y si a ésto le agregamos las dificultades para el vibrado, tendremos la posibilidad de formar ratoneras. También es necesario mencionar que al momento de introducir el refuerzo hay que observar que se deben seguir las especificaciones que indican para miembros estructurales principales en los cuales el concreto se deposita sobre el suelo, el recubrimiento de concreto sobre el refuerzo no podrá ser menor a 7 cm. (ACI 318-89-808,a) y esto es muy difícil de controlar en este tipo de pilotes, por lo que se recomienda dejar un recubrimiento aún mayor. Otro punto importante es el peligro que se corre con el colapso de los forros o el que los mismos se llenen de agua al pasar la excavación por el nivel freático (3).

Existen varios tipos de híbridos, tales como los que se forman bombeando concreto a presión por un vástago hueco de una barrena , con la cual se ha perforado , en tanto que la barrena se va extrayendo del suelo.

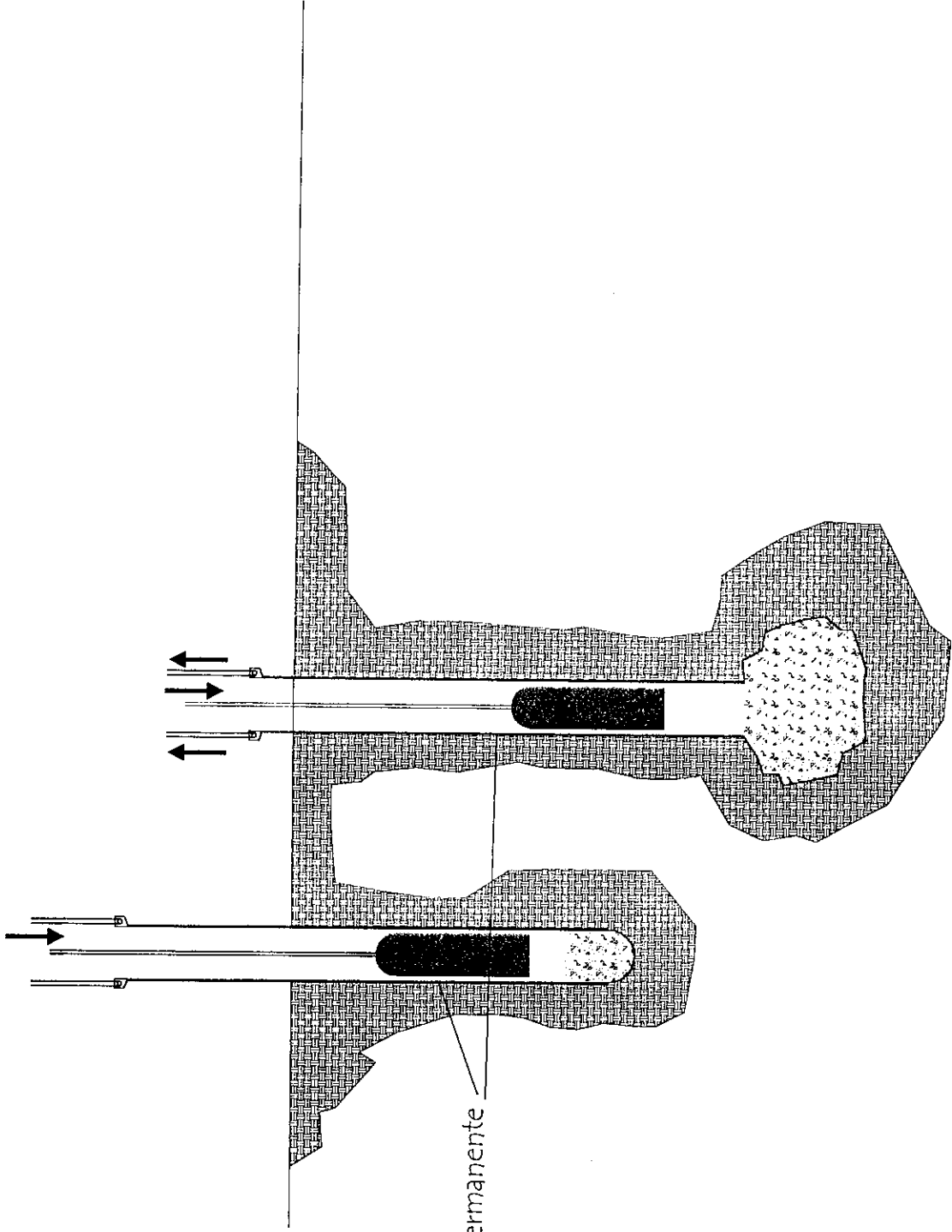
La elección de un pilote colado “in situ”, al igual que con los demás sistemas de pilotaje es dificultoso ya que se debe tener un conocimiento detallado sobre las características y dimensiones de los pilotes disponibles y tener cierta actitud escéptica por tener unas condiciones constructivas que no nos permite la inspección directa, por lo que la supervisión es en especial difícil (3).



*Foto # 2. Fundición de pilotes fundidos *in situ* (3).*



PILOTE TIPO RAYMOND



Tubo de acero permanente

PILOTE TIPO FRANKI

3. Pilotes de concreto precolados

Los pilotes de concreto precolados se fabrican de muchas formas, pero se pueden dividir en dos grandes categorías los precolados sencillos y los preesforzados. Los pilotes de concreto precolados son un tipo muy utilizado en los puentes y edificios. Ocasionalmente en los edificios deben ser reforzados para soportar el manejo hasta que están listos para ser hincados, y deben resistir los esfuerzos causados por el hincamiento. Si se ha calculado mal la longitud, es muy difícil prolongarlos por no decir imposible y además si se llegaran a prolongar mediante el aditamento de soluciones químicas para la adherencia del concreto, se ha comprobado que este tipo de unión cambia las características estructurales del elemento. Por el contrario los pilotes seccionales se pueden prolongar con facilidad mediante coplas de acero, pero también estas pueden influir en el comportamiento del pilote (6).

Los pilotes precolados, con sus barras de refuerzo, tienen la debilidad inherente de agrietarse en líneas, debido a la contracción del concreto durante el curado. Estas grietas no afectan estructuralmente al elemento pero permiten que el agua penetre hasta el refuerzo de acero, donde, por encima del nivel freático del terreno, la corrosión del acero puede causar el desconchamiento del concreto. El agrietamiento puede deberse a que el factor del cemento es elevado, a la colocación de los refuerzos demasiado cerca o muy lejos de la cara del concreto, esta distancia no deberá ser menor de 5 cm para varillas de refuerzo mayores a la No.5 y de 4 cm para varillas No.5 o menores (ACI 318-89-808,a), el curado irregular o interrumpido mediante el mojado y períodos demasiado cortos de curado en los moldes, el concreto se mantendrá por encima de los 10 grados centígrados y en condición húmeda por lo menos durante los primeros 7 días después del colado, excepto el concreto de alta resistencia rápida el cual mantendrá estas condiciones sólo por tres días. Se pueden usar otros períodos de curado si se obtiene la resistencia especificada.(ACI 318-89-605). Por otra parte los pilotes de concreto preesforzado eliminan la mayoría de esos problemas, puesto que el concreto está comprimido y se anula toda la tendencia a agrietarse; aunque siempre se deben

seguir lo descrito por las normas anteriormente descritas. Además, el curado en plantas modernas asegura resultados satisfactorios. La cantidad de esfuerzo de compresión inducido por la tensión de los alambres o las barras, depende de la sección transversal, la longitud del pilote y el número de puntos de recuperación (9). El manejo de los pilotes de concreto precolado es muy importante ya que se pueden evitar las roturas o pandeos en los pilotes. Los pilotes deben manejarse, desde los moldes al almacenamiento y de éste hacia sus destinos, con un mínimo de dos ganchos de izado. Por lo general los puntos de sujeción no deben estar a más de 0.2 veces la longitud total del pilote. Las longitudes de los pilotes de concreto precolado están limitadas por los reglamentos locales de tránsito, así como por su gran peso y relativa poca maniobrabilidad. El manejo durante el trabajo debe hacerse con equipos especializados. Los pilotes deben inspeccionarse periódicamente, para ver si no han sufrido daños. Estos pilotes no se pueden “ajustar” al hincador como los de madera o los de acero. Es probable que los pilotes preesforzados de hasta 40 pies puedan ser elevados hasta las guías con un cable, mientras los precolados deben elevarse sobre el suelo por lo menos con dos cables.

Al hincar pilotes de concreto de cualquier tipo se acostumbra utilizar un seguidor con un bloque amortiguador de madera de 2 a 4 pulgadas de espesor en la cabeza del pilote. Es de suma importancia la alineación del martillo y el pilote. A menos que el martillo golpee bien plano al pilote, este se astillará en la cabeza y no se podrá recortarlo como si fuera un pilote de acero (9).

Los pilotes de concreto son con pocas excepciones, los pilotes más pesados que se utilizan para la cimentación de edificaciones, con un peso de cerca 150 lb/pie^3 . Debido a la inercia que representa el peso y el bloque amortiguador, se deben tomar medidas para facilitar la penetración, aparte de la energía del martillo. Hay condiciones de suelos, donde el pilote de concreto precolado se puede hincar sin dificultad hasta su capacidad límite, pero a veces se encuentran configuraciones de suelos en las que el uso del chifloneado es necesario, para evitar roturas y pérdidas de pilotes. El chifloneado se efectúa mediante la aplicación de chorros de agua para crear orificios en los que se hincan los pilotes o para eliminar la fricción durante el hincado (3). En general se puede decir que las fórmulas de hincado de pilotes no

son aplicables a la determinación de las capacidades de carga en pilotes de concreto precolado. Los pilotes de concreto precolado ofrecen desventajas en condiciones de hincado que presentan dificultades, como cuando se encuentran obstrucciones, ya que no se pueden hincar en exceso; sin embargo su mayor inconveniente es la dificultad de cortarlos, no poder alargarlos y el gran desperdicio en cortes, el cual es mucho mayor que para los demás tipos de pilote (6).

Como ya lo hemos dicho antes los pilotes de concreto ofrecen una mayor resistencia a la carga por lo que se les puede asignar mayores cargas admisibles que a los pilotes de madera. Bajo condiciones normales no están sujetos a deterioro y pueden utilizarse arriba del nivel freático. Elevadas concentraciones de algunas sales minerales, por ejemplo magnesio y sulfato de sodio, pueden producir deterioro y requerir la utilización de otro tipo de materiales. Las sales del agua de mar y humedad marina atacan al refuerzo de acero, por medio de las grietas que anteriormente hemos mencionado al principio del capítulo (3).



Foto # 3 Hincando pilote de concreto armado con martinete Delmag en México, D.F. (17).

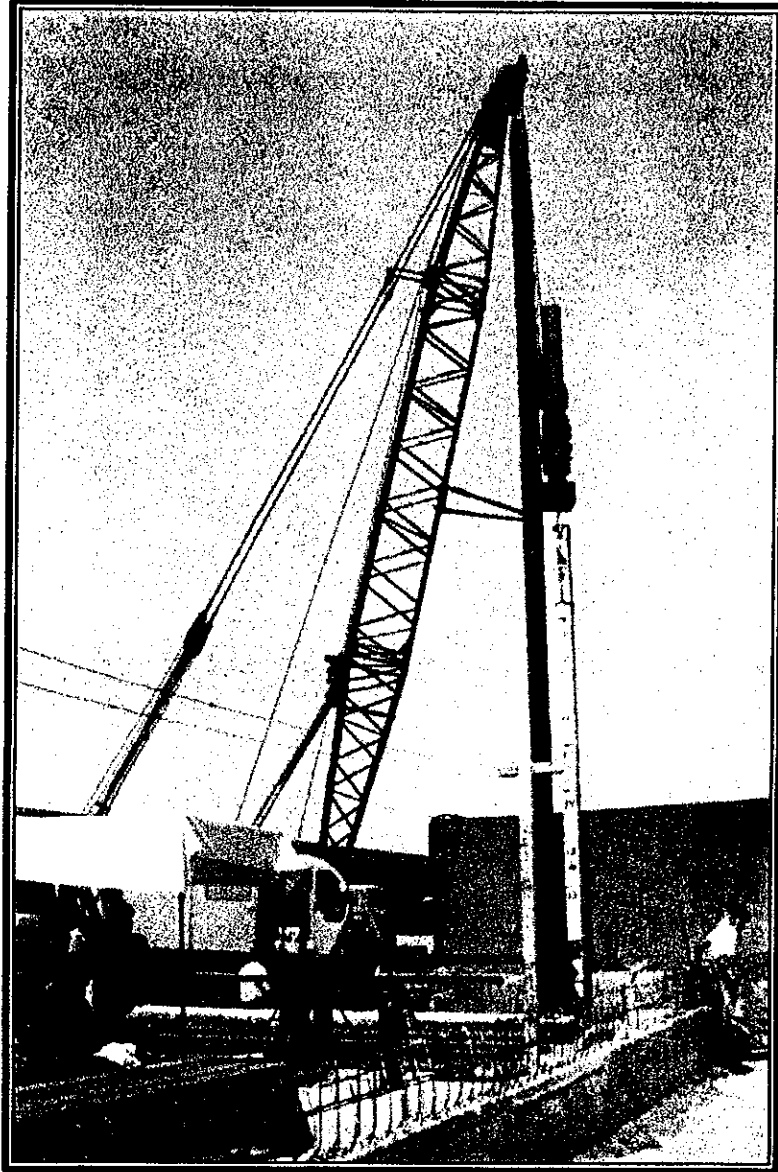


Foto # 4. Hincado de pilote de concreto armado de 45 x 45 cm y de 24,30 m de longitud en México,D.F. (19).

4. Pilotes de acero

Entre los pilotes de acero podemos distinguir dos clases, los pilotes de vigas H y los pilotes tubulares.

Los pilotes de vigas H comenzaron a ser usados en gran escala en 1930. Por lo común los pilotes de vigas H son utilizados para cargas pesadas, donde se puede hincar hasta la roca o hasta llegar a una formación densa. Las vigas H por lo general son producidas con acero ASTM A-36, pero también se les puede encontrar en ASTM A-446, ASTM A-573, o ASTM A-607 (2).

Estos pilotes no se consideran de desplazamiento como los pilotes sólidos, lo cual para ciertos tipos de suelo puede ser de gran ayuda. Un pilote pesado de acero (100 lb-pie), reforzado propiamente e hincado con un martinete de gran potencia, puede ser hincado a través de casi cualquier formación de suelos.

Los pilotes de vigas H se producen en cualquier longitud hasta 65 pies, las limitantes en la longitud de estos pilotes son lo difícil de maniobrar por su gran peso, el transporte, no sólo porque no se pueden transportar muchos a la vez, sino también porque el ancho de muchas calles, así como las leyes de tránsito no lo permiten (3).

Cuando los largos de producción no son suficientes, los pilotes de acero se pueden unir por medio de empalmes. Hay varios tipos de empalmes, tales como:

- a) La unión de las secciones mediante soldadura a tope.
- b) La soldadura de planchas de acero a las superficies exteriores de los rebordes y a ambos lados del alma.
- c) El uso de conexiones deslizantes patentadas.

Al utilizar cualquier tipo de empalme se debe tomar en cuenta que estos desarrollen cierto porcentaje de la resistencia de las vigas H a la compresión axial y el acodamiento. Al empalmar miembros estructurales, es necesario mantener una alineación precisa de las secciones; ésto es difícil y requiere mucho tiempo.

El empalme se puede hacer de dos maneras: antes de hincar el pilote y mientras se está hincando. La primera opción es la más recomendable, es más sencilla, segura, y no produce desperdicio. Todo ésto se debe a que soldar las secciones en las guías es

bastante complicado, además es más difícil mantener una alineación precisa y se tiene que cortar la parte superior de las secciones hincadas para obtener una superficie plana y tener un contacto pleno entre secciones (3).

El hincado de este tipo de pilote es de gran importancia ya que como son pilotes para grandes cargas, los requisitos de hincado son proporcionalmente importantes. Bajo un hincado fuerte y prolongado las vigas tienden a doblarse por lo que es necesario ponerles placas de refuerzo. Pueden producirse pocos defectos serios si se tiene una buena supervisión y se notan los síntomas durante el hincado. Cuando las condiciones del terreno sugieran este tipo de problema es necesario reforzar las puntas de los pilotes. Además los pilotes de vigas H sólo se dañan si los esfuerzos de hincado son excesivos, se debe poner especial atención a los análisis de los esfuerzos dinámicos realizados por medio de la ecuación de onda. Al utilizar estos datos se pueden elegir el pilote, el martillo, y el amortiguador necesarios para formar un sistema compatible en el que mediante una buena supervisión de campo, los esfuerzos de hincado no lleguen a causar daño (6).

El diámetro de los pilotes tubulares varía entre los 25 a 75 cm. El espesor de las paredes muy rara vez es menor de 2.5 mm, usualmente se utilizan pilotes con espesores de 4.5mm con mandril. En el caso de que sólo se utilice el tubo de acero como revestimiento de un pilote de concreto, si el espesor de las paredes excede de 2.5mm puede considerarse que el acero participa con el concreto en el soporte de las cargas estructurales. Los pilotes tubulares normalmente son de acero ASTM A-501, ASTM A-500 o ASTM A-618, según forma del producto y resistencias. Si se hincan con el extremo abierto se deben limpiar antes de colar el concreto dentro de ellos. Ordinariamente están cerrados en el extremo inferior, casi siempre con una placa, los cierres más elaborados con placas cónicas, casi nunca presentan ventajas importantes. Los pilotes de acero tubulares son utilizados para cargas de moderadas a altas y tienen de ventaja sobre los de viga H, el que se puedan inspeccionar después de hincados, cuando el diámetro lo permite (3).

Todos los pilotes de acero están sujetos a deterioro por corrosión. El deterioro es usualmente muy pequeño, si todo el pilote se encuentra enterrado en una formación natural y el óxido que se forma en la superficie del acero constituye un

recubrimiento de protección que detiene las pérdidas posteriores de sección transversal , pero puede ser intenso si se encuentra en un relleno donde hayan bolsas de oxígeno atrapado. Si los pilotes se alargan hasta el nivel del terreno o aun más, las zonas inmediatas son especialmente vulnerables.

Además se puede esperar un ataque intenso entre los niveles de las mareas en el mar, donde los pilotes quedan sujetos a las sales del agua. Las corrientes eléctricas desviadas de centrales y plantas de generación , se consideran como causas de corrosión , tanto arriba como abajo del nivel freático. Los gases disueltos que llevan los estratos que contienen agua, pueden causar corrosión incluso a grandes profundidades. En suelos situados por encima del nivel freático, cuanto más oxígeno se encuentre presente, mayor será la oxidación (3).

De esta manera la oxidación es inversamente proporcional a la densidad del suelo.

Para contrarrestar este problema los pilotes se pueden cubrir con una capa de pintura epóxica o la aplicación de una emulsión asfáltica. Estas capas de protección deben ser protegidas al momento del hincado, ya que no se puede verificar que hayan tenido daño, e incrementan los costos. Para el problema de la corrosión causada por la electrólisis y corrientes derivadas, se puede fijar a tierra grupos de pilotes por medio de un alambre de cobre. La protección catódica por encima del nivel freático tiene un valor dudoso y raras veces se utiliza en las cimentaciones para la construcción (3).

Los empalmes y juntas son otro problema con todo tipo de pilote de acero. En la mayoría de los casos lo más recomendable para tener una junta sellada es utilizar la soldadura, la cual es dificultosa en secciones tubulares y llegar a la junta totalmente impermeable es muy difícil. Según AISC al soldar tubos, el extremo de un trozo de tubo debe biselarse a 45 grados, cortándose el otro recto. Con un anillo de refuerzo fijo en la parte interior y dejando un espacio de aproximadamente 3/16 de pulgada entre los extremos de los tubos, se pueden asegurar soldaduras de penetración completa (9).

Es preciso tener cuidado de no aplicar presión y enfriar la soldadura (sobre todo si se utiliza soldadura de una sola pasada), antes de reanudar el hincado. De otro modo, la soldadura se puede agrietar cuando se hinque por debajo del nivel freático.

Las especificaciones para pilotes delimitan desviaciones de verticalidad del 5 al 10 % de la longitud total del pilote. Esto se puede comprobar únicamente en pilotes huecos, como los de acero tubulares, mientras que en los demás como los de madera, concreto y de vigas H de acero esto no es posible comprobar, por lo que es irrazonable imponer penas por restricciones muy severas para los pilotes que es posible examinar (6).



Foto # 5. Pilote tubular de acero, deformado por acción de hincado (3).

5. Pilotes de polietileno de alta densidad SEAPILE™

Los pilotes SEAPILE™ son la única innovación en el área de pilotes que se ha hecho en las últimas décadas. Es una patente propiedad de Seaward International Inc.

Estos pilotes están hechos de una matriz plástica, creada a partir de polietileno de alta densidad, a la cual se le agregaron inhibidores de rayos ultra violeta, para crear así Duralin™. Este plástico es fabricado a base de plásticos reciclados, como envases de leche o jugos. Como ejemplo podemos mencionar que para la producción de un pie cúbico de pilote se utilizan y reciclan 240 envases de un galón. Los pilotes SEAPILE™ vienen en varias medidas estándar según las necesidades, con longitudes de hasta 105 pies y diámetros de hasta 16 pulgadas. Otras longitudes y diámetros mayores se hacen bajo pedido. Esto se debe al proceso de fabricación el cual permite longitudes sin límite (7).

Se pueden mencionar dos tipos de pilote SEAPILE™, uno con refuerzo de acero y el otro con refuerzo de fibra de vidrio.

Los pilotes con refuerzo de fibra de vidrio son 100% reciclables, así que si un pilote se llegara a dañar en el hincado, se podrá sacar y hacer uno exactamente igual, con las mismas propiedades estructurales y mecánicas sin necesidad de utilizar más material. Estos pilotes con fibra de vidrio son no-conductores y no-magnéticos por la falta de acero u otro metal en su configuración. Esto es una ventaja donde las instalaciones requieran baja conductividad y bajas interferencias electromagnéticas, por ejemplo muelles donde se descarguen productos inflamables.

La piel o parte exterior del pilote es totalmente impermeable con un coeficiente de fricción muy bajo, por lo que es ideal para la protección de los refuerzos de acero, mientras la parte interna o corteza que es la que resiste la carga estructural es 100% homogénea lo cual hace a su comportamiento estructural totalmente predecible.

Al ser estos pilotes primariamente desarrollados para trabajar en el mar, no son atacados ni por las sales del agua de mar, ni por microorganismos acuáticos, además de ser muy resistentes a la contaminación, son resistentes a casi todos los ácidos orgánicos, los combustibles como la gasolina y el diesel. Son muy resistentes a la

abrasión y tienen una excelente resistencia a los impactos laterales. No se corroen, no necesitan mantenimiento y además para zonas residenciales, por seguridad o por alguna necesidad arquitectónica se pueden obtener en varios colores (7).

Los pilotes con refuerzo de acero tienen todas las características de los que tienen el refuerzo de fibra de vidrio con la ventaja de ser aun más resistentes a los esfuerzos de carga, con la única desventaja de ser más difíciles de cortar y de tener problemas para reciclar el acero de refuerzo. Para cortar estos pilotes se necesita de una sierra para metal y otra para el plástico, mientras en los pilotes de fibra de vidrio con la segunda es suficiente, y más rápida. Luego de cortar el pilote con refuerzo de acero se deben sellar los extremos expuestos de las varillas de refuerzo mediante una pasta de silicona de usos múltiples, o para estar más seguros se pueden adquirir capotes de Duralin™ los cuales están hechos a la medida para que el refuerzo quede totalmente resguardado (7).

El manejo y transporte de los pilotes es exactamente igual a la de los demás tipos de pilote con la diferencia de que éstos pesan una tercera parte de un pilote de concreto de las mismas dimensiones. Cuando se quiere levantar un pilote sujetado sólo por dos puntos, éstos deben estar a una quinta parte del largo total del pilote, desde los extremos.

El hincado de este tipo de pilotes es también igual al de otros tipos de pilotes convencionales, se utilizan los mismos tipos de martinets, en este caso de mediana potencia, como un Vulcan 01 con una fuerza de 15000 pie-lb. Donde se necesiten cabezales, amortiguadores u otro tipo de aditamento requerido para el hincado, se tomarán las mismas teorías de hincado tomadas para los demás pilotes .

A continuación encontraremos las propiedades estructurales de uno de los pilotes que se pueden encontrar de forma estándar, y que fue el utilizado para hacer las pruebas de laboratorio y el análisis que se encuentran en el apéndice A. En el apéndice B encontramos el listado de los pilotes SEA-PILE™ que se producen en forma estándar, con sus respectivas propiedades.

Propiedades de Pilotes SEAPILE (7)

Propiedad	Con refuerzo de fibra de vidrio	Con refuerzo de acero
Modulo de elasticidad E	461500 psi	1399000 psi
Momento de Inercia I	1402 pulg ⁴	1403 pulg ⁴
EI	6.47x10 ⁸ lb-pulg ²	1.962x10 ⁹ lb-pulg ²
Esfuerzo máximo a flexión	3930 psi	5680 psi
Peso	40-50 lbs/pie	55-65 lbs/pie
Gravedad específica	0.69-0.87	0.97-1.13
Diámetro	13 pulgadas	13 pulgadas
Grosor de piel	0.1875 pulgadas	0.1875 pulgadas
Recubrimiento del refuerzo	1.0 pulgadas	1.0 pulgadas
Diámetro del refuerzo	1.0 pulgadas	1.0 pulgadas
No. De elementos de refuerzo	8, separados igualmente	8, separados igualmente

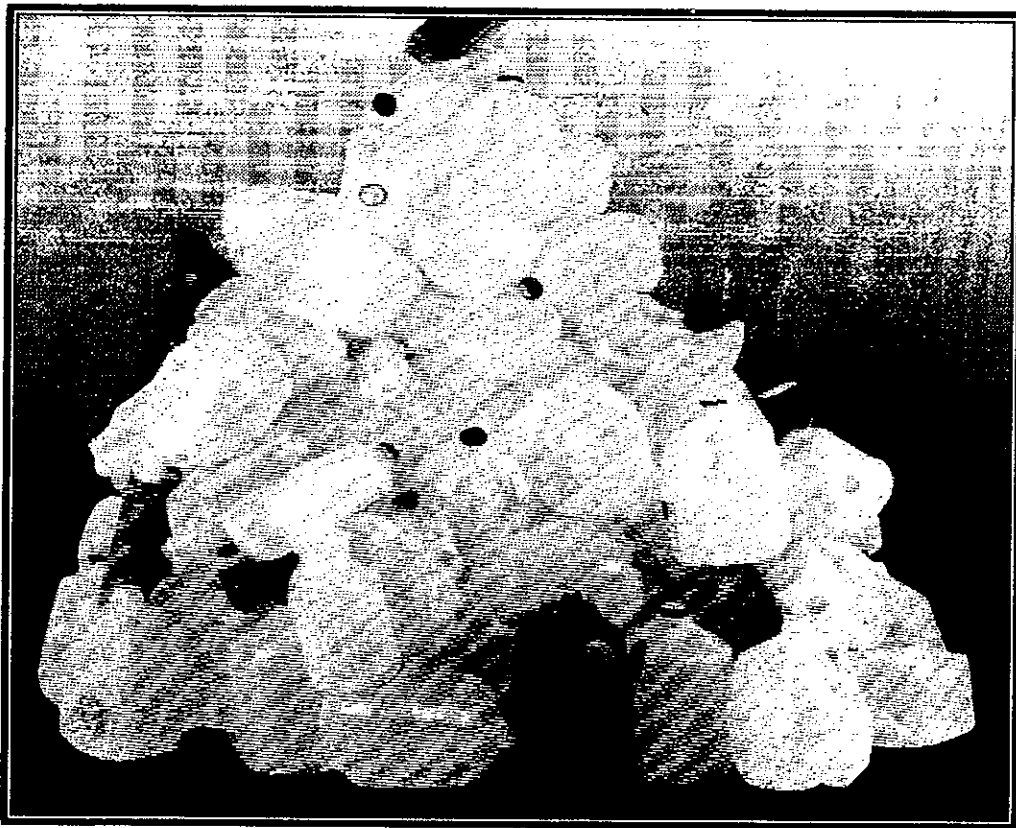


Foto # 5. Se necesitan 240 envases plásticos de 1 galón para producir un pie de pilote (7).

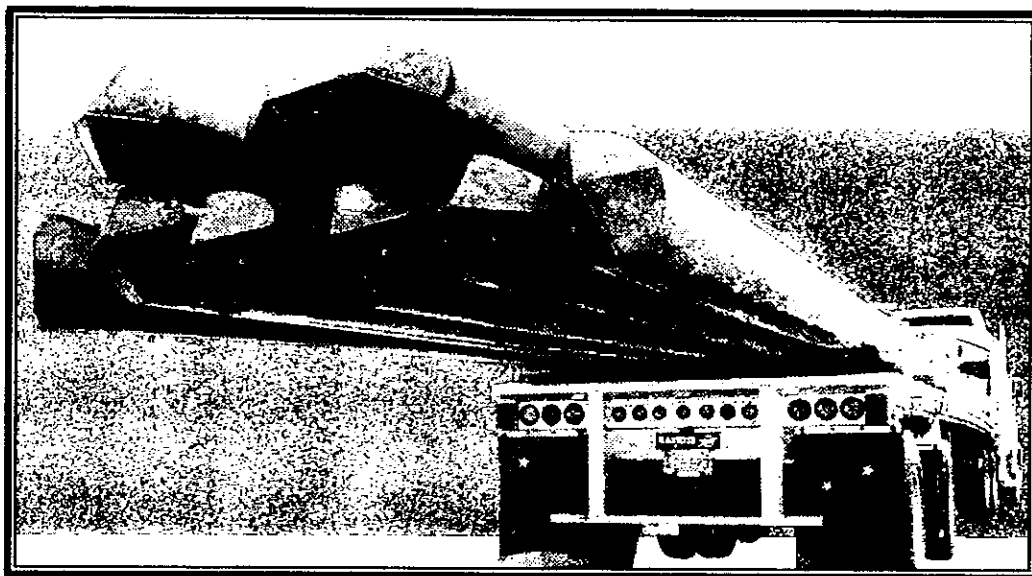


Foto # 6. Transportando los pilotes SEA-PILE™ (7).

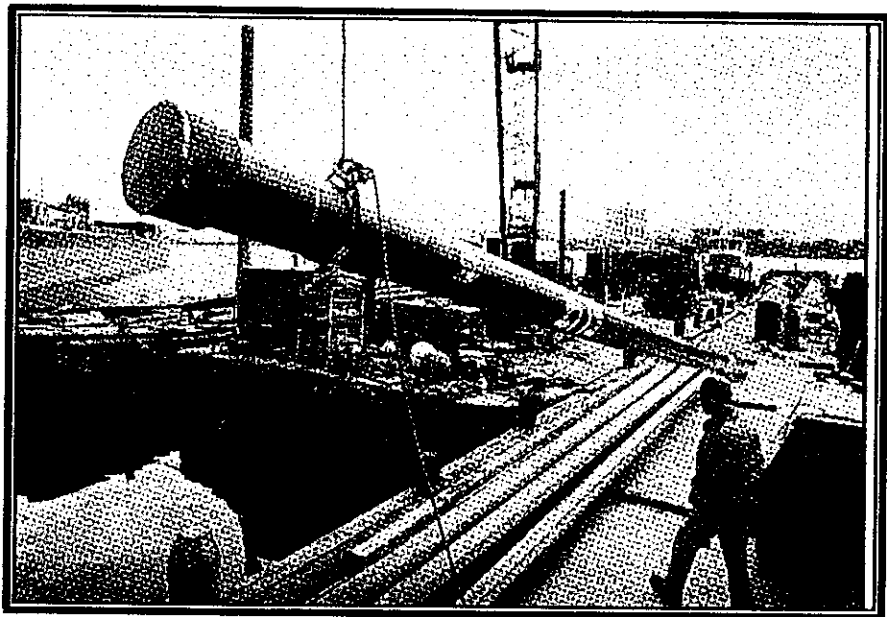


Foto # 7. El bajo peso de los pilotes SEA-PILE™ los hace fáciles de maniobrar (7).



Foto # 8. Alineando pilotes SEA-PILE™ antes de ser hincados (7).

Foto # 9. Hincando pilotes SEA-PILE™ (7).

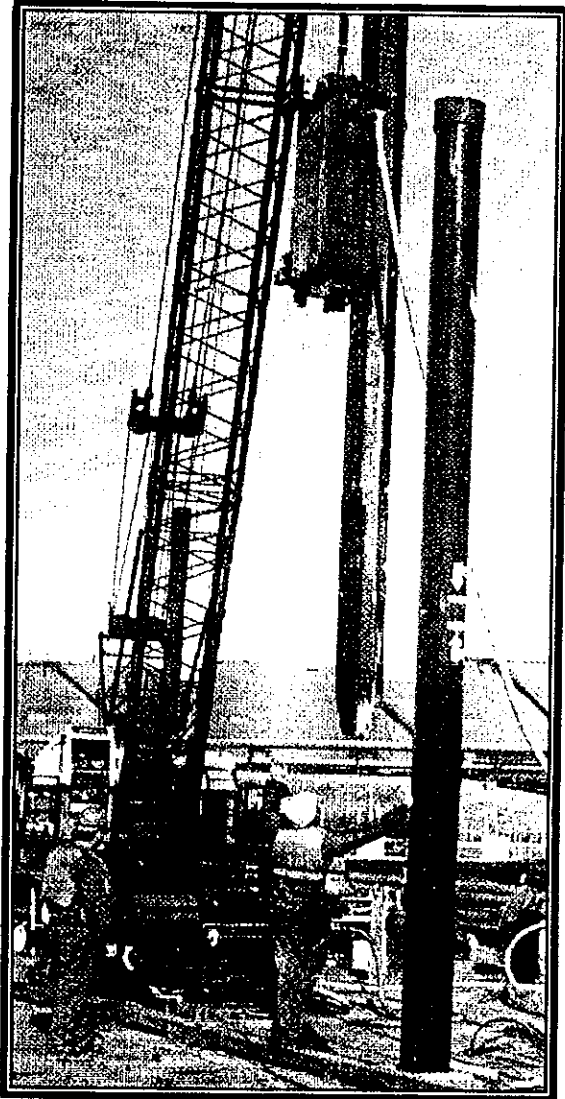


Foto # 10. Hincando pilote SEA-PILE™ con Vulcan 01 (7).

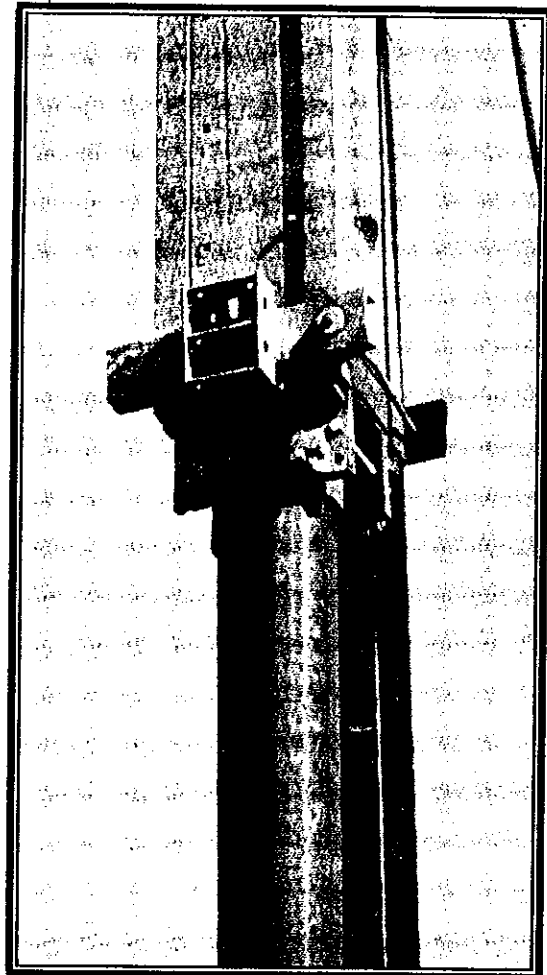


Foto # 11. SEA-PILE™ como bardas de protección en Boston (16).

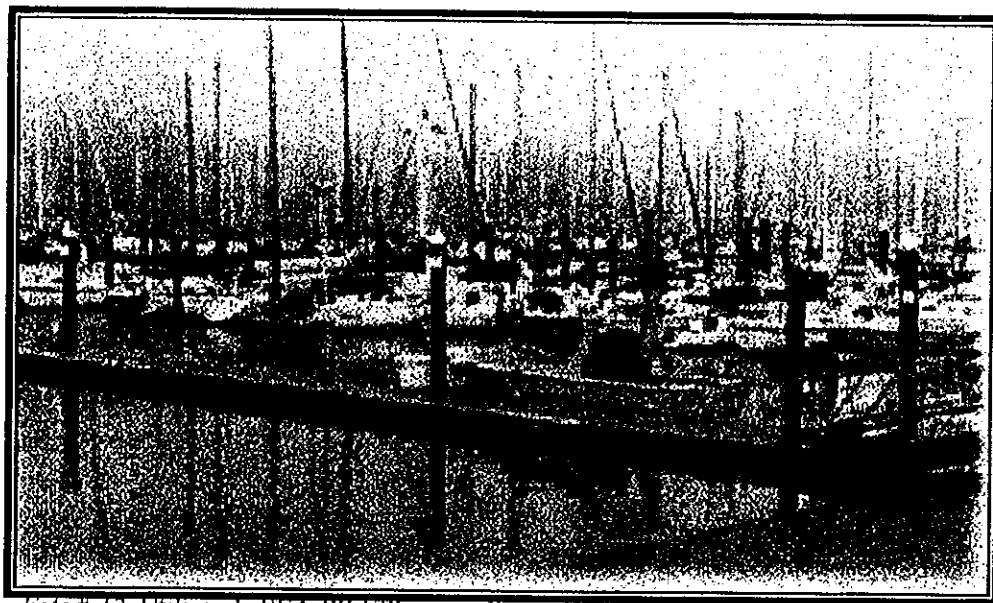
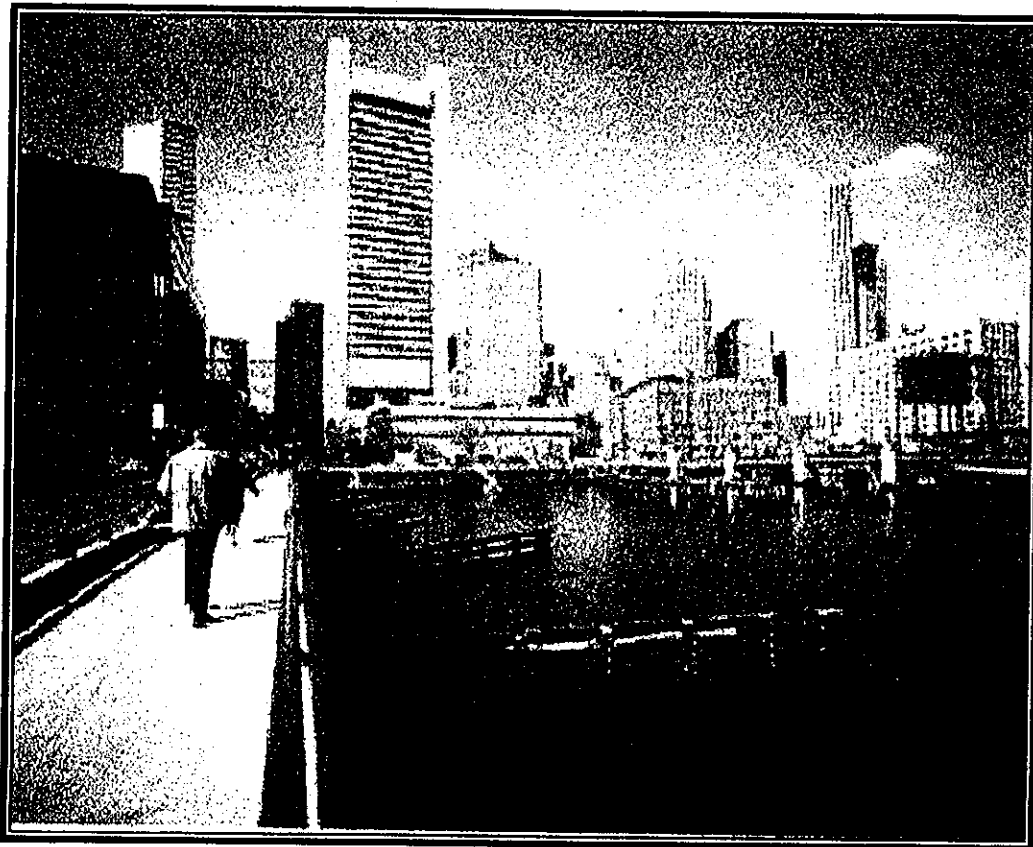


Foto # 12. Utilizando SEA-PILE™ en muelles en Santa Cruz, California (16).

VI. CONCLUSIONES

Es importante señalar que las conclusiones al igual que los objetivos se pueden separar en dos partes; la primera hablará sobre los varios tipos de pilotes expuestos en este trabajo, mientras la segunda se concentrará en los pilotes SEA-PILE™.

- Las comparaciones directas entre los varios tipos de pilote presentados en este trabajo son muy difíciles por no decir imposibles, ya que encontramos que cada tipo de pilote se puede especializar en un caso específico por lo que tratar de decir cual es el más conveniente es realmente difícil y dependerá de varios factores; estructurales, económicos y logísticos. Por lo anterior se pensó que la mejor manera de compararlos sería de una manera general sin entrar a casos específicos, donde la elección del pilote adecuado queda en las manos de la capacidad y criterio del ingeniero. A continuación encontraremos una tabla resumiendo las razones principales para la elección de un pilote en particular.

Tipo de Pilote	Ventajas	Desventajas	Usos recomendados
Madera	Bajo costo, facilidad de hincado, son livianos.	Se rompen fácilmente al encontrar un estrato duro, longitud limitada, no soportan esfuerzos de impacto, atacados fácilmente por agentes químicos y biológicos, requieren cuidado en la manipulación antes del hincado, se deforman por la acción directa de los rayos del sol, corta vida útil.	Para la construcción de muelles pequeños, y estructuras livianas. Utilizado en zonas marinas y para la construcción de casas en lugares con peligro de inundación.

<p>Concreto colado <i>in situ</i> con mandril</p>	<p>Económicos, se pueden inspeccionar por dentro. Se pueden adaptar a grandes variaciones de longitud. Los tipos cónicos son convenientes como pilotes de fricción</p>	<p>Se necesita de equipos especializados y pesados, problemas con la filtración del agua. Colapso y desgarramiento de los moldes. Ataque de cierto tipo de agentes químicos y biológicos.</p>	<p>Su uso es muy generalizado se puede usar para estructuras medianamente pesadas, donde la introducción del equipo sea fácil</p>
<p>Concreto colado <i>in situ</i> sin mandriles</p>	<p>Fáciles de hincar. Se empalman fácilmente. Se utiliza equipos ligeros, raras veces se desgarran y pocas veces tienen filtraciones de agua. Aun más económicos que los que usan mandril</p>	<p>Capacidad limitada para aceptar hincado energético. Ataque químico y biológico causado por agentes mayormente encontrados en aguas marinas y residuales. Imperfecciones y discontinuidades en la fundición</p>	<p>Son pilotes de uso general para cargas medianas. Donde la introducción de grandes maquinarias se complique</p>

<p>Concreto colado <i>in situ</i> sin moldes (perforado)</p>	<p>Bajo costo, Rápidos.</p>	<p>Problemas en suelos con desplomes y altos contenidos de agua Las pruebas de carga resultan muy costosas. No se pueden inspeccionar y requieren de un control de calidad muy estricto. Mucho control con refuerzo de acero . Las desventajas ya mencionadas anteriormente para pilotes de concreto.</p>	<p>Estructuras con cargas medianas, muros de retención de emergencia. Uso general</p>
<p>Concreto Preesforzado</p>	<p>Permanencia. Resisten la corrosión , alta capacidad de carga, resisten hincado energético. Grandes longitudes. No se rompen con tanta facilidad, se pueden maniobrar con menos cuidado. Se pueden utilizar arriba del nivel freático.</p>	<p>Vibraciones durante el hincado energético, se necesita de equipos pesados. Se necesita chifloneado, altos costos de desperdicios de corte, uniones problemáticas, difícil la inspección del hincado. Muy pesados. Necesidad de lugar extenso para su hincado</p>	<p>Su utilización es general, edificios, puentes , instalaciones marinas. Estructuras de mediana y gran carga.</p>

<p>Acero vigas H</p>	<p>Fáciles de hincar, gran capacidad de carga, excelente penetración, más livianos que los de concreto. Gran longitud. Disponibilidad por lo general inmediata</p>	<p>Dificultad con los empalmes, además de ser costosos. Problemas de asiento en el fondo. Se corroen. Tienden a doblarse. Dificil transporte y manipuleo. Dificil inspección hincado.</p>	<p>Para grandes cargas. En lugares donde el mantenimiento sea posible. Evitar cualquier fuente de corrosión</p>
<p>Acero Tubulares</p>	<p>Fáciles de hincar , económicos, se pueden hincar en secciones cortas, se puede inspeccionar el fondo y el hincado, gran capacidad de carga , fácil de obtenerlos</p>	<p>Empalmes difíciles, a menos que se suelden se pueden llenar de agua. Los pilotes a fricción necesitan un análisis cuidadoso. Problemas con la corrosión</p>	<p>Uno de los tipos de pilote más utilizado. Su uso es general hasta en instalaciones marinas. Requieren mantenimiento. Estructuras de mediana a gran carga.</p>

En lo que respecta a los pilotes tipo SEA-PILE™ podemos concluir varias cosas.

- Los pilotes SEA-PILE™ por sus características mecánicas y químicas son una solución en lugares donde agentes química y biológicamente agresivos se encuentren en contacto con los pilotes. No necesitan mantenimiento y los métodos utilizados para su hincado son iguales a los utilizados en pilotes tradicionales.
- Su bajo peso, los hace maniobrables , de fácil colocación y transporte.
- El no ser magnéticos, 100% no conductivos y no inflamables (bajo condiciones normales) los hace ideales para instalaciones donde por razones de seguridad se

exijan estas características. Por ejemplo muelles de desembarque de productos inflamables.

- Las características de los materiales utilizados en su fabricación los hace muy trabajables, siendo sencillo su corte y perforación.
- Su corteza lisa tiene un efecto positivo por ser poco abrasiva, pero lo mismo conlleva a problemas para el uso de estos pilotes en situaciones donde se requiera pilotes que trabajen a fricción.
- Los pilotes SEA-PILE™ son ecológicamente amigables siendo 100% reciclables por lo que no existe desperdicio en cortes, su fabricación a base del reciclaje de envases plásticos es una excelente alternativa para la re-utilización de productos no biodegradables. Su fabricación no produce subproductos tóxicos. Visualmente tienen la ventaja de poder fabricarse del color que uno elija por lo que la contaminación visual también se ve reducida.
- Estructuralmente es un producto totalmente homogéneo lo que lo hace predecible en su comportamiento. El análisis y diseño de estructuras con este sistema de pilotaje no difiere de los métodos que se utilizarían para un sistema de pilotaje tradicional. La capacidad de carga es un poco restringida, lo que los hace idóneos para estructuras livianas o medianas. Son ideales para sustituir pilotes de madera.
- La longitud en nuestro caso depende de las longitudes permitidas por la ley de tránsito y el ancho de las calles ya que por el sistema de fabricación éstos pueden ser producidos de cualquier largo. Esto puede ser un problema ya que no es posible acoplar de manera sencilla y segura.
- Su importación desde E.E.U.U seguramente es una desventaja importante y debe tomarse en cuenta al momento de pensar en la utilización de este producto.

VII. RECOMENDACIONES

- La elección de un sistema de pilotaje en particular, debe sustentarse en un análisis no sólo estructural sino también económico y logístico. Debiéndose tomar en cuenta factores como la localización, así como el tipo de proyecto a ejecutar, teniendo especial cuidado con instalaciones especiales, marítimas y donde por cuestiones de seguridad o agresión por agentes externos tengamos que pensar en materiales especializados como concretos resistentes a sulfatos o pinturas epóxicas para acero. Las características geológicas así como topográficas del lugar son de gran importancia y esenciales para una buena elección. También se debe tener desde el principio del proyecto un criterio estructural bien definido, así como una idea de la situación económica del proyecto que nos ayude a definir el mismo. También es muy importante tomar en cuenta la infraestructura y los medios con los que se cuenta. No se puede dejar de mencionar la importancia de la experiencia que se tenga con los distintos materiales de construcción, tratando de elegir el sistema de pilotaje cuyo material sea familiar. Por la gran variedad de pilotes, su especialización y los factores que influyen en la elección del pilote ideal para nuestras necesidades, siempre es recomendable consultar a personas que tengan una vasta experiencia en el campo.

- La utilización de SEA-PILE™ se recomienda para instalaciones marinas, lugares donde los demás tipos de pilote se vean agredidos por agentes externos y donde el mantenimiento de los mismos sea dificultoso. Su uso es ideal para lugares donde se requiera un pilote de punta y cuyas cargas no sean de gran tamaño. Es necesario decir que no por esto se deben encerrar en estos usos, ya que los usos pueden ser muy variados y lo que se necesita es un mayor estudio de sus características para encontrarlos.

- Es muy recomendable el estudio de nuevos materiales de construcción, ya que estos pueden ser una solución viable para un sin fin de necesidades.

- La utilización de este tipo de materiales nos trae beneficios ecológicos que antes no eran observados en la industria de la construcción y que en los últimos tiempos han tenido un gran auge, creciendo en importancia no sólo para los profesionales de la construcción sino también para los clientes y la ciudadanía en general.
- El estudio de productos no tradicionales nos abre las puertas a un mundo que cada día crece en tecnología y donde no nos podemos quedar atrás.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. A.C.I “**Reglamento de Construcciones de Acero Reforzado**”
(A.C.I 318-89). IMCYC. México, D.F 1989.
2. Brockenbrough, R., Merritt, F “**Manual del Diseño de Estructuras de Acero**”
Tomo 1. 2da. Edición McGraw-Hill, Colombia 1997
3. Fletcher, G. Smoots, V. “ **Estudio de Suelos y Cimentaciones en la Industria De la Construcción**” 1era. Edición. Limusa S.AdeC.V
México, D.F 1990.
4. Merritt, F. “**Manual del Ingeniero Civil**”, 2do. Tomo. 2da. Edición McGraw-Hill
México, D.F. 1984.
5. Nawy, E. “ **Concreto Reforzado**” 1era. Edición. Prentice-Hall
Hispanoamericana, S.A. México, D.F. 1988.
6. Peck, R. Hanson, W. Thornburn, T. “**Ingeniería de Cimentaciones**” 1era.
Edición, Limusa S.A de C.V Mexico D.F 1990
7. SEAWARD INTERNATIONAL, INC. “ **Manual Técnico SEA-PILE™** “
E.E.U.U. 1994
8. Robles, F. “ **Estructuras de Madera**” 1era. Edición. Editorial Limusa
S.A de C.V. México, D.F. 1986.
9. Tchebotarioff, G. “ **Foundations, Retaining and Earth Structures**”
2da. Edición. MacGraw-Hill, U.S.A 1973.

10. Pérez. R. Trabajo de Tesis “Consideraciones sobre la Colocación del Acero en Estructuras de concreto” 1976.

11. AASHTO. “Standar Specification for Highway Bridges” 1996 Edition

Referencias del Internet

12. www.ebuilt.com

13. www.environment.../Bplastic2.htm

14. www.fiberglasscolombia.com

15. www.isotex.com

16. www.me.mit.edu/2.01/taxonomy/characteristics/polyethylene.html

17. www.p2pays.org

18. www.seaward.com

19. www.stagsa.com

Apéndice A.

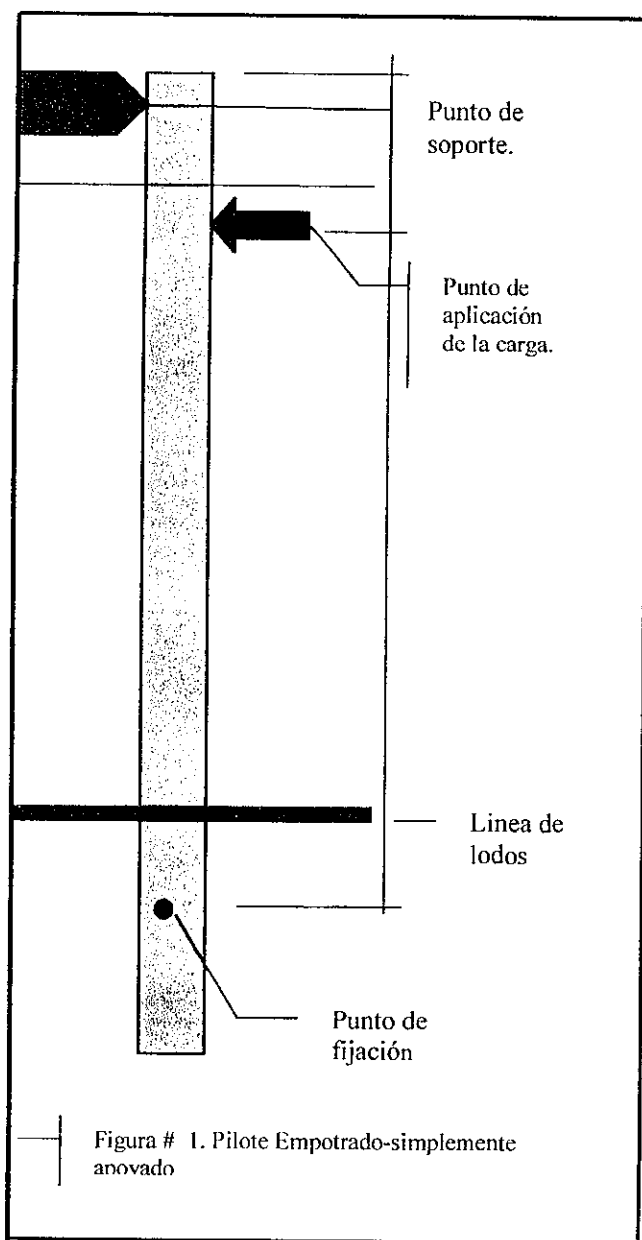
Referencias de diseño y pruebas de laboratorio para pilotes SEA-PILE™ (7).

Referencias de diseño y pruebas de laboratorio para pilotes SEA-PILE.

En este apéndice se hará una introducción en la metodología para la elección del SEA-PILE™ que más se ajuste a las necesidades del proyecto. Para ésto se buscaron las configuraciones estructurales en las cuales el rendimiento de estos pilotes es atractivo y funcional.

Por sus múltiples ventajas en instalaciones marinas, las configuraciones recomendadas son de utilidad en construcciones de muelles e instalaciones acuáticas.

Caso 1. Empotrado- Simplemente apoyado



$$U_{total} = U1 + U2$$

U_{total} = Energía total de deformación

$U1$ = Componente asociado a "a"

$U2$ = Componente asociado a "b"

La energía de deformación está relacionada a la carga por:

$$U1 = C1 W^2$$

$$U2 = C2 W^2$$

Donde:

W = Carga por impacto.

$$C1 = \frac{b^2}{8EI l^3} (n^2 a - mn^2 a + m^2 a^3 / 3)$$

$$C2 = \frac{a^4 b^3}{24EI l^3} (9l^2 - 6la + a^2)$$

"a" = distancia del punto de fijación punto donde se ejerce la carga.

"b" = distancia del punto de soporte del pilote al punto donde se ejerce la carga.

"l" = largo del pilote por sobre el punto de fijación (a+b).

E = módulo de elasticidad

I = momento de inercia

“m” = (1 + a) (1 + b) + a l

“n” = a l (1 + b)

Si la carga de impacto transmitida al pilote es conocida, la carga estática equivalente puede calcularse. De igual manera si se conoce la carga estática, la energía de deformación del pilote se puede calcular. Reordenando las ecuaciones anteriores la carga está dada por:

$$W = \sqrt{\frac{U_{total}}{(C_1 + C_2)}}$$

De aquí y tomando como base la teoría clásica de vigas podemos encontrar el esfuerzo de flexión máximo, la deflexión en el punto donde se aplica la carga y las reacciones del apoyo simple así como en el empotrado.

$$\sigma_{max} = \frac{Wa^2b(3l - a)}{2l^3Z}$$

Donde : σ_{max} = esfuerzo de flexión máximo

Z = módulo de sección el cual se define como : I/c

Donde c = la distancia del eje neutro a la fibra exterior.

La deflexión esta dada por :

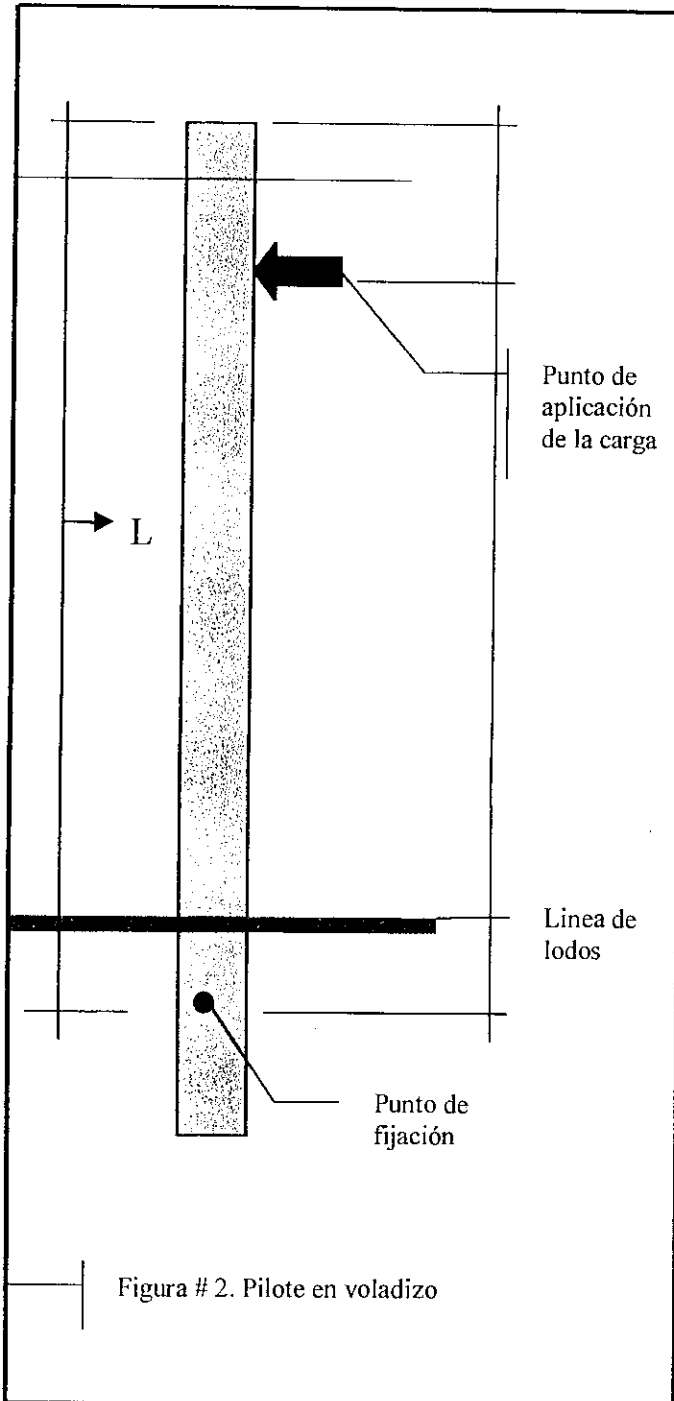
$$Y_w = \frac{Wa^3b^2(3l + b)}{12EI^3}$$

Donde: Y_w = es la deflexión en el punto de carga

La reacción en el apoyo es :

$$R = \frac{Wa^2(3l - a)}{2l^3}$$

Caso 2. Se encuentra el pilote en voladizo.



En este caso sólo encontramos una componente para nuestra energía de deformación, donde :

$$U_{total} = \frac{W^2 a^3}{6EI}$$

Por lo que:

$$W = \sqrt{\frac{6EIU_{total}}{a^3}}$$

El esfuerzo de flexión para esta configuración está dado por:

$$\sigma_{max} = \frac{Wa}{Z}$$

Ya que no encontramos ninguna reacción con el muelle o similar, las deflexiones en el extremo del pilote como en el punto donde se concentra la carga son:

$$Y_{ext} = \frac{Wa^2(3l - a)}{6EI}$$

$$Y_w = \frac{Wa^3}{3EI}$$

Ahora con una visión más amplia veremos las pruebas de laboratorio para flexión y carga axial para pilotes SEA-PILE™.

Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de ingeniería de la universidad de LEHIGH en Bethlehem, Pennsylvania, U.S.A. a donde pilotes reforzados con fibra de vidrio y acero fueron probados con carga axial y lateral así como por aplastamiento (crush test).

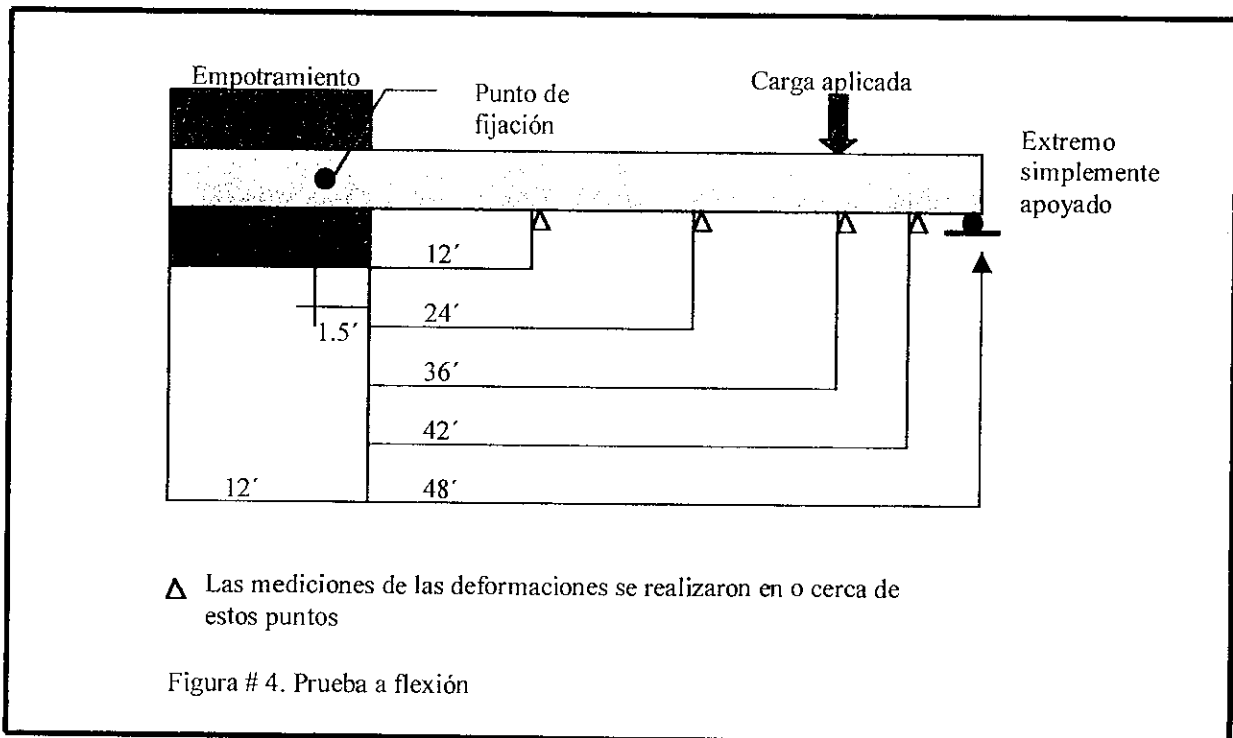
Las pruebas de flexión lateral y aplastamiento fueron realizadas con una máquina de pruebas universal Baldwin-Lima-Hamilton que puede simular cargas de hasta 5,000,000 de libras.

Las pruebas de carga axial se realizaron usando una prensa hidráulica calibrada con un dinamómetro de péndulo.

1. Resultados de las pruebas con carga lateral.

Como se observa en la figura #4, las pruebas se realizaron en forma horizontal simulando una configuración empotrado-simplemente apoyado como se observó en el Caso # 1.

La carga se aplicó a doce pies del apoyo simple y las deformaciones se midieron en los puntos señalados.



Como sabemos del Caso # 1. La deflexión en el punto donde se concentra la carga esta dada por

$$Y_w = \frac{Wa^3b^2(3l+b)}{12EI^3}$$

Reordenando la ecuación tenemos:

$$EI = \frac{W}{Y_w} \left[\frac{a^3b^2(3l+b)}{12l^3} \right]$$

O también:

$$EI = \frac{W}{Y_w} [GC_w]$$

Donde GC_w es una constante geométrica dada por la configuración de la viga (en este caso llamamos viga al pilote por encontrarse en posición horizontal y porque las pruebas de flexión llevadas a cabo sobre estos pilotes se basan en la teoría clásica de vigas).

En el punto donde se ejerce la carga en esta pruebas de flexión GC :

$$GC_w = \frac{a^3b^2(3l+b)}{12l^3}$$

Donde las dimensiones reales para una prueba fueron :

“a”= 450”

“b”= 135.5”

“l” = 585.5”

Partiendo de aquí tenemos:

$$GC_w = 1.32 \times 10^6 in^3$$

Y esto nos lleva a :

$$EI = (1.32 \times 10^6) \frac{W}{Y_w}$$

Por ejemplo y utilizando un dato recabado en una de las pruebas tenemos una deflexión :

$$Y_w = 9.94''$$

Cuando la carga es:

$$W = 5,000 \text{ lbs.}$$

Esto nos da una rigidez de :

$$EI = (1.32 \times 10^6) \frac{5000}{9.94} = 6.6 \times 10^8 \text{ lb} - \text{pulg}^2$$

Este resultado es para pilotes reforzados con fibra de vidrio, mientras que para los pilotes reforzados con acero se encontraron los siguientes resultados:

Para la misma carga:

$$W = 5,000 \text{ lbs}$$

Se encontró una deflexión de:

$$Y_w = 3.5''$$

Lo cual nos conduce a:

$$EI = 18.8 \times 10^8 \text{ lb} - \text{pulg}^2$$

En la tabla # 5 se muestran los resultados parciales de las pruebas realizadas en pilotes reforzados con acero y fibra de vidrio.

Tabla # 5. Resultados parciales de pilotes a flexión

Carga en kips	Fibra de vidrio		Acero	
	Deflexión en el Punto de carga en pulgadas	EI x10 ⁸ (lb-pulg ²)	Deflexión en el punto de carga en pulgadas	EI x10 ⁸ (lb-pulg ²)
0	0	-----	0	-----
0.5	0.88	7.5	0.31	21.3
1	1.75	7.5	0.69	19.1
1.5	2.81	7	1	19.8
2	3.81	6.9	1.38	19.1
2.5	4.75	6.9	1.69	19.5
3	5.81	6.8	2.06	19.2
3.5	6.81	6.8	2.44	18.9
4	7.88	6.7	2.75	19.2
4.5	9	6.6	3.13	19
5	9.94	6.6	3.5	18.9
Promedio		6.9		19.4

La constante GC se calculó en forma similar para cada punto de medición con lo cual se calculó su respectiva rigidez. El promedio de todos estos cálculos nos llevó a los valores siguientes

	Reforzado con fibra de vidrio	Reforzado con acero
Rigidez promedio EI (lb-pulg ²)	6.47 x 10 ⁸	19.6 x 10 ⁸

La cedencia para los pilotes de prueba se estimó al utilizar los datos de carga-deflexión para una configuración dada. En este caso se utilizó la configuración descrita por el Caso #1. Con el cual se calculó que los pilotes reforzados con acero tienen una resistencia última de 13,500 lbs. Mientras los reforzados con fibra de vidrio tienen una resistencia última de 8,500 lbs.

De acá se calculó su máximo esfuerzo de flexión , según las fórmulas del Caso #1.

$$\sigma_{max} = \frac{Wa^2b(3l - a)}{2l^3Z}$$

Utilizando ésta y los datos del ejemplo anterior sabemos que:

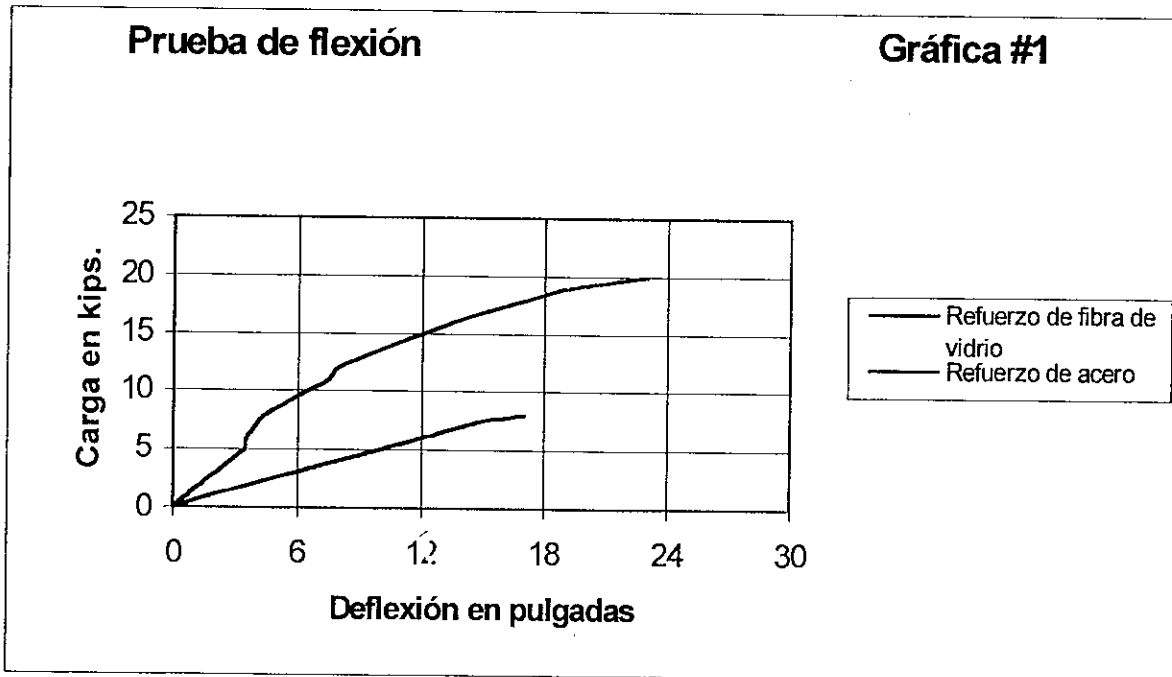
$$\sigma_{max} = 3500psi$$

Para pilotes reforzados con fibra de vidrio mientras que los pilotes reforzados con acero

$$\sigma_{max} = 5600psi$$

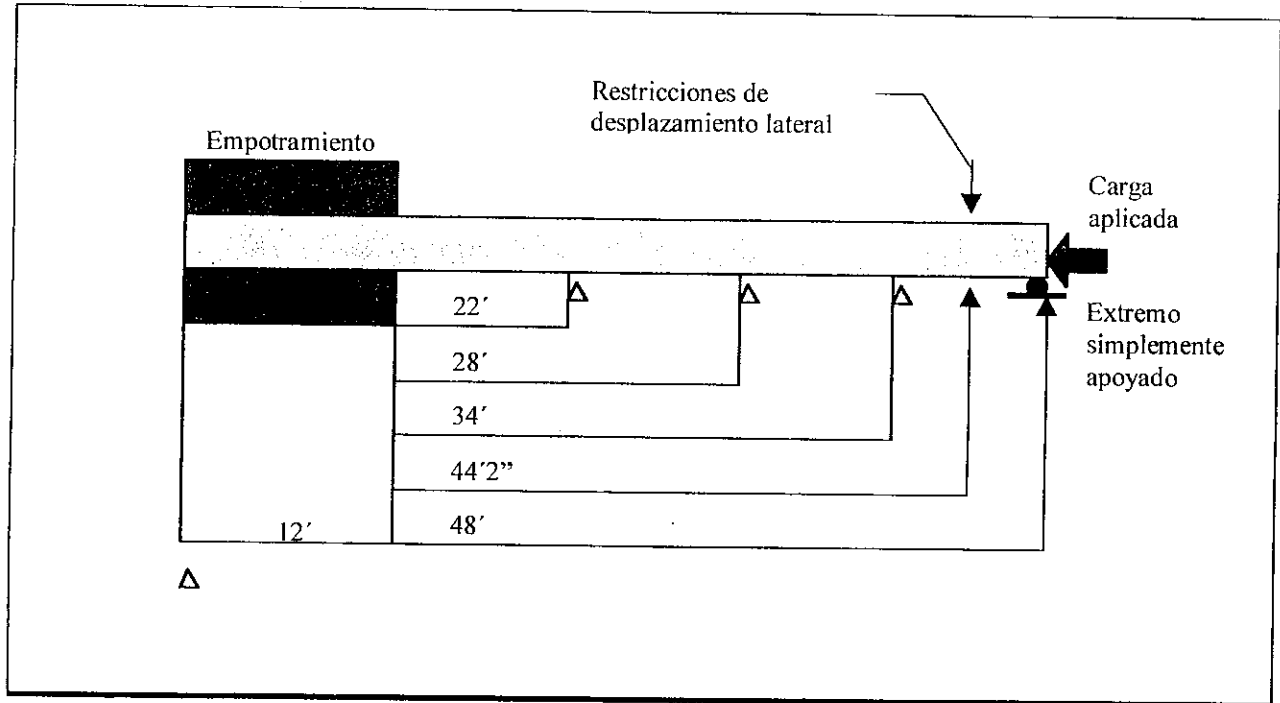
Cálculos similares se realizaron en cada una de las pruebas dando como resultado, el siguiente:

	Reforzado con fibra de vidrio	Reforzado con acero
Máximo esfuerzo de flexión (psi)	3930	5680



Resultados de Pruebas con carga axial.

Como se muestra en la figura # 5 las pruebas con carga axial se desarrollaron en una posición horizontal. Las deformaciones axiales se registraron en el punto de carga, mientras las laterales a lo largo del pilote en los lugares señalados.



En compresión, la deformación axial del pilote antes del pandeo es:

$$Y = \frac{Pl}{AE_c}$$

Donde:

A= Área transversal del pilote

L= Largo del pilote

E_c= Módulo de compresión

P= Carga axial

Para los pilotes SEA-PILE™ el módulo de elasticidad E , en flexión no es igual al módulo de compresión E_c , ya que el primero depende del número de elementos de refuerzo, su área transversal y su localización. Mientras el módulo de compresión depende únicamente del número y área transversal del refuerzo.

Por ejemplo el pilote representado en la gráfica #2 con refuerzo de fibra de vidrio nos indica una deflexión de:

$$Y = 0.932 \text{ "}$$

Para una carga de:

$$P = 42,000 \text{ lbs}$$

Con una longitud de pilote de:

$$l = 576 \text{ "}$$

El diámetro del pilote es de 13", por lo que su área transversal viene dada por:

$$A = \pi r^2 = 132.7 \text{ "}^2$$

Resolviendo para el módulo de compresión E_c

$$E_c = \frac{Pl}{Ay} = \frac{(42000)(576)}{(132.7)(0.932)} = 1.96 \times 10^5 \text{ psi}$$

Para pilotes reforzados con acero y siguiendo los datos dados por la gráfica #2 encontramos que:

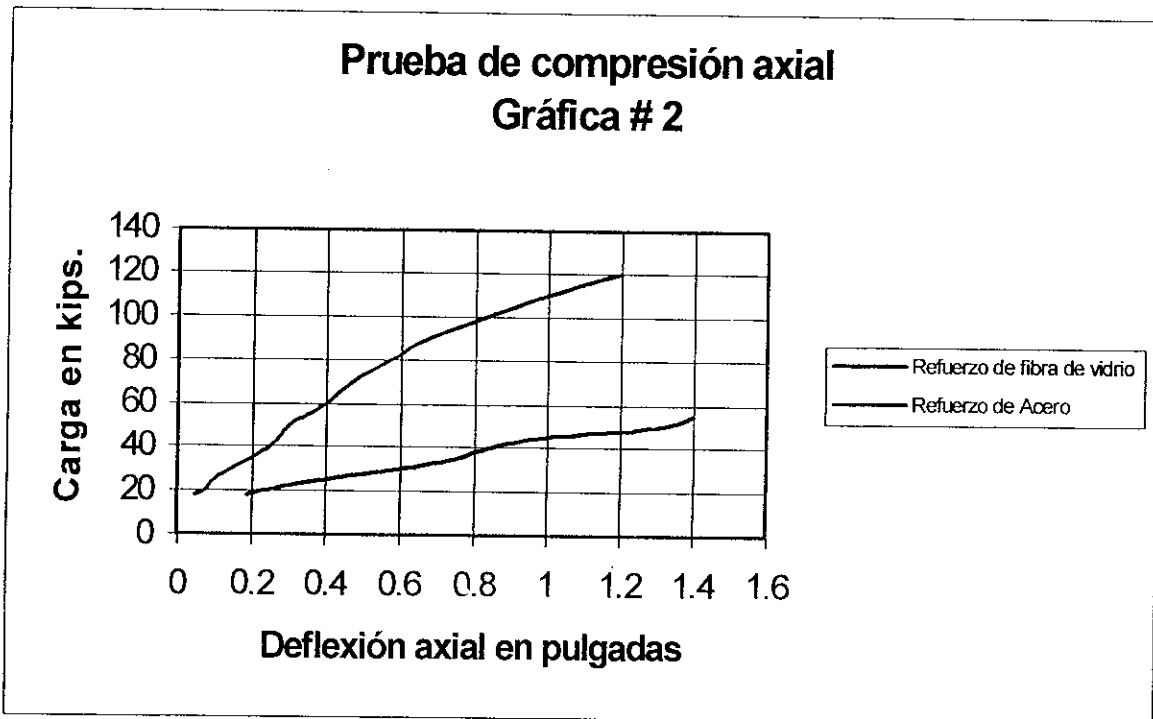
$$y = 0.572 \text{ "}$$

Para una carga de:

$$P = 80000 \text{ lbs}$$

Resolviendo para el módulo de compresión tenemos:

$$E_c = \frac{(80000)(576)}{(132.7)(0.572)} = 6.07 \times 10^5 \text{ psi}$$



El módulo de compresión fue calculado para cada pilote con cada carga y respectiva deflexión, dando como resultados los siguientes

	Reforzado con fibra de vidrio	Reforzado con acero
Módulo de compresión E_c (psi)	1.79×10^5	5.38×10^5

Cada pilote fue cargado axialmente hasta que se observaron deflexiones laterales, las pruebas fueron detenidas cuando el pilote continuó deformándose axial como

lateralmente sin agregar más carga. La carga con la que se llegó a este punto se consideró como crítica o de pandeo. Según la teoría de Euler para pandeo la carga crítica se relaciona con el rigidez de la columna por la ecuación:

$$P_f = \frac{\pi^2 EI}{Le^2}$$

Donde:

P_f = Carga crítica o de pandeo

Le = Distancia entre puntos donde el momento es cero

Debido a las restricciones laterales en este caso (según ejemplo de prueba de carga axial) el largo efectivo es:

$$Le = 0.7 l$$

Sustituyendo en la ecuación de Euler

$$P_f = \frac{2 \pi^2 EI}{l^2}$$

Reordenando para el rigidez de la columna

$$EI = \frac{P_f l^2}{2 \pi^2}$$

Para la prueba de carga axial vista anteriormente tenemos que :

$$“I” = 530”$$

Por lo tanto

$$EI = 1.4 \times 10^4 \text{ Pf}$$

Las cargas de pandeo observadas durante las pruebas y la rigidez de la columna para SEA-PILE™

	Reforzado con fibra de vidrio	Reforzado con acero
Carga de pandeo	42000 lbs	80000 lbs
Rigidez de columna EI (lb-in ²)	5.9×10^8	11.2×10^8

Resultados de pruebas de aplastamiento

Se probaron los pilotes de dos y tres pies de largo reforzados con fibra de vidrio para aplastamiento axial, también se probaron pilotes de cuatro pies de largo reforzados con acero para ser aplastados en forma perpendicular a su eje.

Todos los especímenes fueron sujetos a cargas de 500 kips sin que alguno fallara en algún sentido.

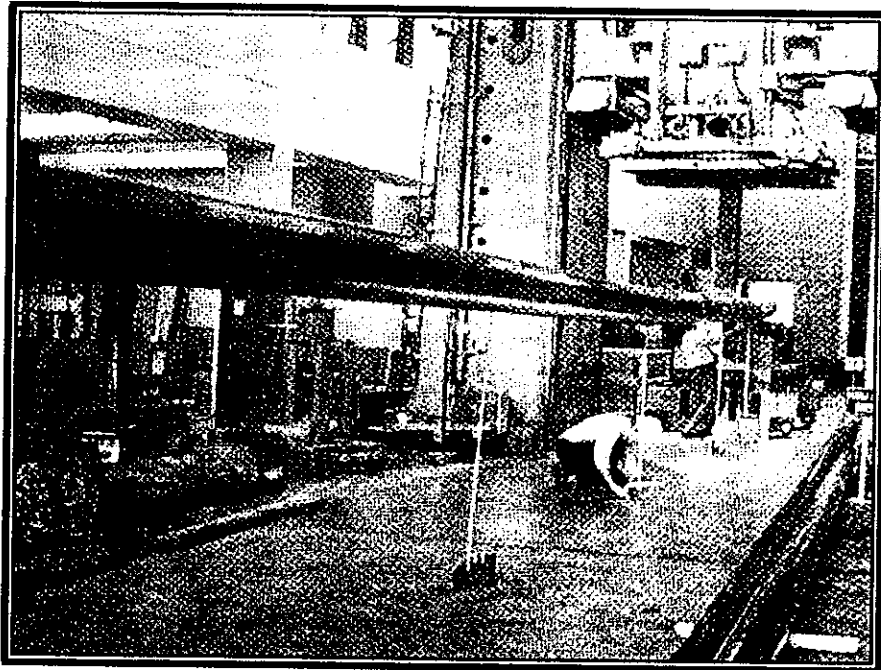


Foto # 12. Pruebas de laboratorio realizadas en la Universidad de Lehigh en Bethlehem Pennsylvania, E.E.U.U. (7)

Apéndice B.

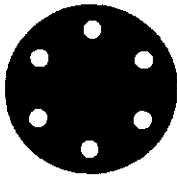
Características típicas de pilotes SEA-PILE™

De fabricación estándar.

10 in (250 mm) DIAMETER

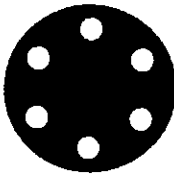
SEAPILE®
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



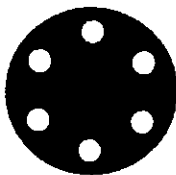
WITH 6-1 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	438 825 psi	3 026 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	2.15E+08 lb-in ²	618 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	4 112 psi	28.4 MPa
Weight	24 lbs/ft	36 kg/m
	to 29 lbs/ft	43 kg/m
Specific Gravity	0.70-0.86	0.70-0.86
Compressive Modulus, E _c	221 250 psi	1 526 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	1.00 in	25 mm
	Reinforcing Element Diameter	1.00 in
Number of Reinforcing Elements	6	6



WITH 6-1.25 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	603 770 psi	4 163 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	2.96E+08 lb-in ²	851 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	5 658 psi	39.0 MPa
Weight	25 lbs/ft	37 kg/m
	to 31 lbs/ft	46 kg/m
Specific Gravity	0.74-0.90	0.74-0.90
Compressive Modulus, E _c	303 047 psi	2 090 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.88 in	22 mm
	Reinforcing Element Diameter	1.25 in
Number of Reinforcing Elements	6	6



WITH 6-1.375 in FIBERGLASS REBAR

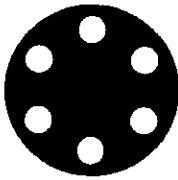
	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	703 323 psi	4 849 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	3.45E+08 lb-in ²	991 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	6 591 psi	45.4 MPa
Weight	26 lbs/ft	38 kg/m
	to 32 lbs/ft	47 kg/m
Specific Gravity	0.76-0.93	0.76-0.93
Compressive Modulus, E _c	352 005 psi	2 427 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.81 in	21 mm
	Reinforcing Element Diameter	1.38 in
Number of Reinforcing Elements	6	6

10 in (250 mm) DIAMETER

SEAPILE®

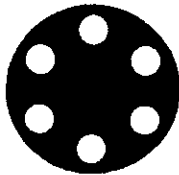
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



WITH 6-1.5 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	809 206 psi	5 579 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	3.97E+08 lb-in ²	1 140 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	7 583 psi	52.3 MPa
Weight	27 lbs/ft	40 kg/m
	to 33 lbs/ft	48 kg/m
Specific Gravity	0.78-0.96	0.78-0.96
Compressive Modulus, E _c	403 688 psi	2 783 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.75 in	19 mm
Reinforcing Element Diameter	1.50 in	38 mm
Number of Reinforcing Elements	6	6

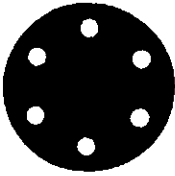


WITH 6-1.625 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	920 895 psi	6 350 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	4.52E+08 lb-in ²	1 298 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	8 630 psi	59.5 MPa
Weight	27 lbs/ft	41 kg/m
	to 34 lbs/ft	50 kg/m
Specific Gravity	0.81-0.99	0.81-0.99
Compressive Modulus, E _c	457 755 psi	3 156 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.69 in	17 mm
Reinforcing Element Diameter	1.63 in	41 mm
Number of Reinforcing Elements	6	6

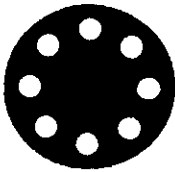
10 in (250 mm) DIAMETER

SEAPILE®
COMPOSITE MARINE PILING
Updated 5-99



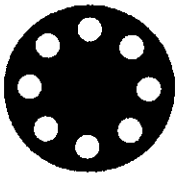
WITH 8-1 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	560 100 psi	3 862 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	2.75E+08 lb-in ²	789 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	5 249 psi	36.2 MPa
Weight	25 lbs/ft	37 kg/m
	to 30 lbs/ft	45 kg/m
Specific Gravity	0.72-0.88	0.72-0.88
Compressive Modulus, E _c	282 500 psi	1 948 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	1.00 in	25 mm
Reinforcing Element Diameter	1.00 in	25 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8



WITH 8-1.25 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	780 027 psi	5 378 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	3.83E+08 lb-in ²	1 099 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	7 310 psi	50.4 MPa
Weight	26 lbs/ft	39 kg/m
	to 32 lbs/ft	48 kg/m
Specific Gravity	0.77-0.94	0.77-0.94
Compressive Modulus, E _c	391 563 psi	2 700 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.88 in	22 mm
Reinforcing Element Diameter	1.25 in	32 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8



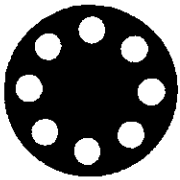
WITH 8-1.375 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	912 764 psi	6 294 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	4.48E+08 lb-in ²	1 286 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	8 554 psi	59.0 MPa
Weight	27 lbs/ft	40 kg/m
	to 33 lbs/ft	49 kg/m
Specific Gravity	0.80-0.98	0.80-0.98
Compressive Modulus, E _c	456 841 psi	3 150 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.81 in	21 mm
Reinforcing Element Diameter	1.38 in	35 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8

10 in (250 mm) DIAMETER

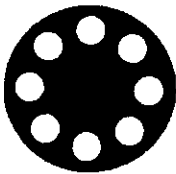
SEAPILE®
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



WITH 8-1.5 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	1 053 941 psi	7 267 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	5.17E+08 lb-in ²	1 485 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	9 877 psi	68.1 MPa
Weight	28 lbs/ft	42 kg/m
	to 35 lbs/ft	51 kg/m
Specific Gravity	0.83-1.01	0.83-1.01
Compressive Modulus, E _c	525 750 psi	3 625 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.75 in	19 mm
	Reinforcing Element Diameter	1.50 in
Number of Reinforcing Elements	8	8



WITH 8-1.625 in FIBERGLASS REBAR

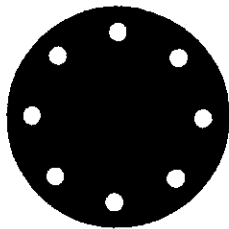
	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	1 202 861 psi	8 294 MPa
Moment of Inertia, I	491 in ⁴	0.000205 m ⁴
Stiffness, EI	5.90E+08 lb-in ²	1 695 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	11 273 psi	77.7 MPa
Weight	29 lbs/ft	44 kg/m
	to 36 lbs/ft	53 kg/m
Specific Gravity	0.86-1.06	0.86-1.06
Compressive Modulus, E _c	597 841 psi	4 122 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.69 in	17 mm
	Reinforcing Element Diameter	1.63 in
Number of Reinforcing Elements	8	8

13 in (330 mm) DIAMETER

SEAPILE®

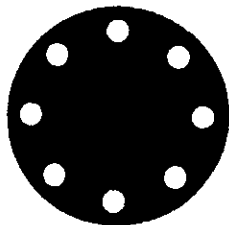
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



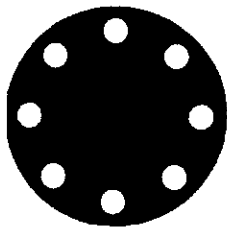
WITH 8-1 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	419 841 psi	2 895 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	5.89E+08 lb-in ²	1 690 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	3 580 psi	24.7 MPa
Weight	39 lbs/ft	59 kg/m
	to 48 lbs/ft	72 kg/m
Specific Gravity	0.68-0.84	0.68-0.84
Compressive Modulus, E _c	182 470 psi	1 258 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	1.00 in	25 mm
Reinforcing Element Diameter	1.00 in	25 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8



WITH 8-1.25 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	574 742 psi	3 963 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	8.06E+08 lb-in ²	2 313 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	4 901 psi	33.8 MPa
Weight	41 lbs/ft	61 kg/m
	to 50 lbs/ft	75 kg/m
Specific Gravity	0.71-0.87	0.71-0.87
Compressive Modulus, E _c	247 004 psi	1 703 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.88 in	22 mm
Reinforcing Element Diameter	1.25 in	32 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8



WITH 8-1.375 in FIBERGLASS REBAR

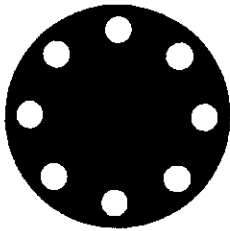
	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	667 843 psi	4 605 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	9.36E+08 lb-in ²	2 688 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	5 695 psi	39.3 MPa
Weight	42 lbs/ft	62 kg/m
	to 51 lbs/ft	76 kg/m
Specific Gravity	0.73-0.89	0.73-0.89
Compressive Modulus, E _c	285 631 psi	1 969 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.81 in	21 mm
Reinforcing Element Diameter	1.38 in	35 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8

13 in (330 mm) DIAMETER

SEAPILE®

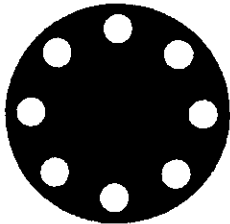
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



WITH 8-1.5 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	766 492 psi	5 285 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	1.07E+09 lb-in ²	3 085 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	6 537 psi	45.1 MPa
Weight	43 lbs/ft	64 kg/m
	to 53 lbs/ft	78 kg/m
Specific Gravity	0.75-0.91	0.75-0.91
Compressive Modulus, E _c	326 405 psi	2 251 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.75 in	19 mm
Reinforcing Element Diameter	1.50 in	38 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8



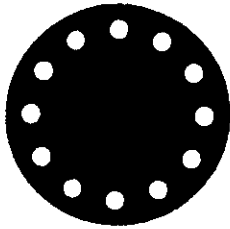
WITH 8-1.625 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	870 125 psi	6 000 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	1.22E+09 lb-in ²	3 502 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	7 420 psi	51.2 MPa
Weight	44 lbs/ft	66 kg/m
	to 54 lbs/ft	80 kg/m
Specific Gravity	0.77-0.94	0.77-0.94
Compressive Modulus, E _c	369 063 psi	2 545 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.69 in	17 mm
Reinforcing Element Diameter	1.63 in	41 mm
Number of Reinforcing Elements	8	8

13 in (330 mm) DIAMETER

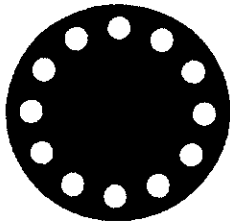
SEAPILE®
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



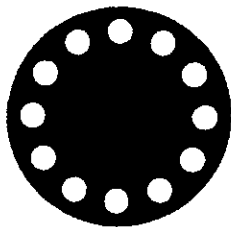
WITH 12-1 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	592 261 psi	4 084 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	8.30E+08 lb-in ²	2 384 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	5 051 psi	34.8 MPa
Weight	41 lbs/ft	61 kg/m
	to 50 lbs/ft	74 kg/m
Specific Gravity	0.71-0.87	0.71-0.87
Compressive Modulus, Ec	254 956 psi	1 758 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	1.00 in	25 mm
Reinforcing Element Diameter	1.00 in	25 mm
Number of Reinforcing Elements	12	12



WITH 12-1.25 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	824 614 psi	5 686 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	1.16E+09 lb-in ²	3 319 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	7 032 psi	48.5 MPa
Weight	43 lbs/ft	64 kg/m
	to 53 lbs/ft	79 kg/m
Specific Gravity	0.75-0.92	0.75-0.92
Compressive Modulus, Ec	351 757 psi	2 425 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.88 in	22 mm
Reinforcing Element Diameter	1.25 in	32 mm
Number of Reinforcing Elements	12	12



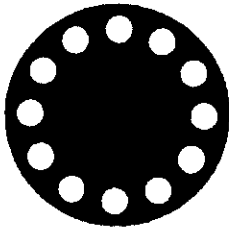
WITH 12-1.375 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	964 264 psi	6 649 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	1.35E+09 lb-in ²	3 881 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	8 223 psi	56.7 MPa
Weight	45 lbs/ft	66 kg/m
	to 55 lbs/ft	81 kg/m
Specific Gravity	0.78-0.95	0.78-0.95
Compressive Modulus, Ec	409 696 psi	2 825 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.81 in	21 mm
Reinforcing Element Diameter	1.38 in	35 mm
Number of Reinforcing Elements	12	12

13 in (330 mm) DIAMETER

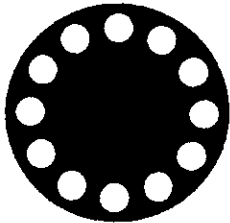
SEAPILE®
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



WITH 12-1.5 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	1 112 238 psi	7 669 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	1.56E+09 lb-in ²	4 477 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	9 485 psi	65.4 MPa
Weight	46 lbs/ft	69 kg/m
	to 57 lbs/ft	84 kg/m
Specific Gravity	0.80-0.98	0.80-0.98
Compressive Modulus, E _c	470 858 psi	3 247 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.75 in	19 mm
Reinforcing Element Diameter	1.50 in	38 mm
Number of Reinforcing Elements	12	12



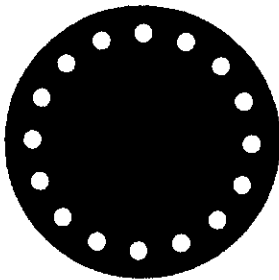
WITH 12-1.625 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	1 267 687 psi	8 741 MPa
Moment of Inertia, I	1 402 in ⁴	0.000584 m ⁴
Stiffness, EI	1.78E+09 lb-in ²	5 103 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	10 811 psi	74.5 MPa
Weight	48 lbs/ft	71 kg/m
	to 59 lbs/ft	87 kg/m
Specific Gravity	0.83-1.02	0.83-1.02
Compressive Modulus, E _c	534 844 psi	3 688 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.69 in	17 mm
Reinforcing Element Diameter	1.63 in	41 mm
Number of Reinforcing Elements	12	12

16 in (400 mm) DIAMETER

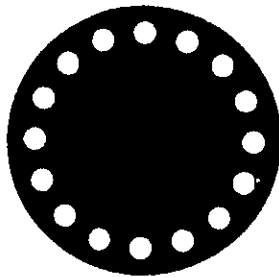
SEAPILE®
COMPOSITE MARINE PILING

Updated 5-99



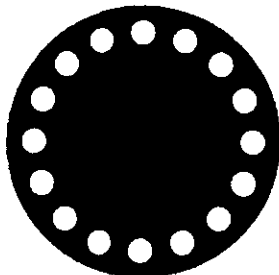
WITH 16-1 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	562 675 psi	3 880 MPa
Moment of Inertia, I	3 217 in ⁴	0.001340 m ⁴
Stiffness, EI	1.81E+09 lb-in ²	5 197 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	4 632 psi	31.9 MPa
Weight	61 lbs/ft	90 kg/m
	to 74 lbs/ft	111 kg/m
Specific Gravity	0.70-0.85	0.70-0.85
Compressive Modulus, E _c	228 906 psi	1 578 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	1.13 in	29 mm
Reinforcing Element Diameter	1.00 in	25 mm
Number of Reinforcing Elements	16	16



WITH 16-1.25 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	780 980 psi	5 385 MPa
Moment of Inertia, I	3 217 in ⁴	0.001340 m ⁴
Stiffness, EI	2.51E+09 lb-in ²	7 213 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	6 429 psi	44.3 MPa
Weight	64 lbs/ft	95 kg/m
	to 78 lbs/ft	117 kg/m
Specific Gravity	0.74-0.90	0.74-0.90
Compressive Modulus, E _c	314 111 psi	2 166 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	1.00 in	25 mm
Reinforcing Element Diameter	1.25 in	32 mm
Number of Reinforcing Elements	16	16



WITH 16-1.375 in FIBERGLASS REBAR

	English	Metric
Modulus of Elasticity, E	911 981 psi	6 288 MPa
Moment of Inertia, I	3 217 in ⁴	0.001340 m ⁴
Stiffness, EI	2.93E+09 lb-in ²	8 423 kN-m ²
Maximum Yield Stress in Bending	7 508 psi	51.8 MPa
Weight	66 lbs/ft	98 kg/m
	to 81 lbs/ft	120 kg/m
Specific Gravity	0.76-0.93	0.76-0.93
Compressive Modulus, E _c	365 110 psi	2 517 MPa
Distance from Outer Surface to Reinforcing Elements	0.94 in	24 mm
Reinforcing Element Diameter	1.38 in	35 mm
Number of Reinforcing Elements	16	16

Apéndice C.

Especificaciones para el hincado de pilotes según AASHTO.(11)

1. Descripción

Este apéndice consiste en un resumen de las especificaciones de la AASHTO para el hincado de pilotes. Estas especificaciones incluyen desde la fabricación hasta el hincado de los pilotes así como las pruebas a las que deben someterse antes, durante el hincado y al recibir a satisfacción el trabajo. Todas las especificaciones que se mencionan en este apéndice deben ser cumplidas por el constructor o contratista antes de poder recibir el trabajo a satisfacción.

1.2. Materiales

1.2.1. Acero

El acero estructural que se debe utilizar en los pilotes debe llenar los requerimientos para un acero AASHTO M270 (ASTM A 709) grados 36, 50, o 50W y deberán ser del tipo ASTM A690 cuando los pilotes se utilicen en áreas marinas.

El acero debe pintarse siempre que el pilote se extienda por arriba de la superficie del terreno o por encima del agua. La pintura tiene que estar especificada para su uso sobre acero nuevo, expuesto a contaminación agresiva o áreas marinas. La pintura debe aplicarse por lo menos dos pies por debajo de la superficie del agua o terreno, hasta donde llegue el pilote al descubierto.

1.2.2. Madera

Los pilotes de madera pueden ser tratados o no tratados según especifiquen los planos . Cuando se utiliza madera tratada debe tenerse cuidado de no lastimar la superficie de la misma por lo que la utilización de ganchos o perforaciones para el manipuleo y transporte quedan restringidas, si se llegaran a lastimar, raspar o perforar, será necesario volver a tratar las áreas que quedaron sin protección. La

madera a utilizar para la fabricación de pilotes deben satisfacer la especificación AASHTO M 168.

1.2.3. Concreto

El concreto a utilizar en los pilotes debe de ser clase A. Las medidas, el refuerzo de acero y el recubrimiento deben seguirse según los planos. En el caso de utilizarse un molde de acero para fundir el pilote este debe ser no menos grueso que lo especificado en los planos. El constructor o contratista debe de proveer de un molde suficientemente grueso y rígido que permita el hincado sin que este se deteriore y soporte las cargas ejercidas por el suelo y no debe tener filtraciones de agua. Estos también deben dar la facilidad para vibrar y consolidar el concreto. Se debe tener especial cuidado al fundir el concreto para lograr una unión satisfactoria de éste con el refuerzo de acero y evitar la formación de “ratoneras” y otros defectos en la construcción.

Para asegurar la uniformidad, el concreto debe fundirse en cada pilote en forma continua y debe ser compactado por vibración o por otro medio aceptado por el ingeniero a cargo. Los moldes deben ser rebalsados, el concreto sobrante quitado y luego se le debe dar un acabado uniforme, hasta tener una textura lisa y poco porosa.

Las partes del pilote que quedarán a la vista deben tener un terminado de calidad siguiendo los mismos preceptos utilizados para las columnas.

Los pilotes de concreto prefabricados y pre-tensados. Deben fraguar por lo menos 21 días antes de poder ser hincados, y en climas fríos este tiempo se incrementa a criterio del ingeniero a cargo. Los pilotes que serán utilizados en áreas marinas deben fraguar por lo menos 30 días, antes de ser utilizados. El concreto debe ser protegido de la congelación hasta que su resistencia a compresión sea por lo menos de 0.8f_c. Para su manipuleo y transporte es importante evitar esfuerzos de pandeo así como cualquier otro tipo de esfuerzos que puedan dañar el elemento. Para pilotes que se utilizarán en zonas marinas o en suelos agresivos, se debe evitar cualquier tipo de abrasión en la superficie del pilote que deje expuesto el concreto del interior.

Los pilotes fundidos *en situ* no deben ser fundidos hasta que las perforaciones o hincado de moldes se haya terminado en un radio de 15 pies.

1.3. Hincado

Los pilotes que se levanten más de ¼ de pulgada durante el hincado de pilotes adyacentes deberán ser vueltos a hincar. Los pilotes deben ser hincados con una desviación de la vertical de no más de ¼ de pulgada por cada pie de largo, excepto aquellos que fueron diseñados para ser hincados en forma inclinada, siempre y cuando no sean expuestos a esfuerzos excesivos. Los pilotes no pueden estar fuera de posición por más de ¼ de su diámetro o 6 pulgadas, el que sea mayor después de su hincado.

La capacidad soporte de cada pilote se puede calcular con varios métodos de los cuales el más sencillo es el método empírico el cual se basa en dos fórmulas :

$$P = \frac{2WH}{S + 1.0}$$

Para martinete de gravedad.

$$P = \frac{2E}{S + 1.0}$$

Para otro tipo de martinetes.

Donde:

P= La capacidad soporte del pilote en libras.

W= Peso en libras del martinete.

H= Altura de caída en pies.

E= Energía producida por el martinete por golpe, en pie/libras.

S= El porcentaje de penetración por golpe, de los últimos 5 a 10 golpes para martinetes de gravedad y de 10 a 20 golpes para otro tipo de martinetes.

Estas fórmulas se pueden utilizar siempre y cuando el martinete sea de acción simple o de gravedad, la cabeza del pilote no se haya dañado, la penetración sea razonablemente rápida y uniforme. Si se utiliza chifloneado las fórmulas anteriores se pueden utilizar con los resultados de penetración cuando ya se hayan quitado los chorros de agua.

Aparte de este método podemos mencionar otros que pueden ser más precisos pero también más laboriosos.

1. Método por análisis de ecuación de onda.
2. Método de prueba con cargas dinámicas.
3. Método de prueba con cargas estáticas.

1.4.1. Equipo de hincado

Todo equipo que dañe los pilotes no debe ser utilizado, todo el equipamiento para el hincado de pilotes debe ser aprobado por el ingeniero a cargo. El ingeniero a cargo debe de poner atención en el equipo a utilizar no sólo por la protección a los pilotes sino también por la eficiencia del equipo. Las siguientes eficiencias deben ser utilizadas para el método de ecuación de onda.

Martinete de acción sencilla	67%
Martinete de doble acción	50%
Diesel	72%

Aparte de esto el ingeniero tiene que evaluar la cantidad de golpes por pulgada y la capacidad última del pilote. El número de golpes indicado por los cálculos debe estar entre 3 y 10 golpes por pulgada. También para que el equipo sea aceptable, el

esfuerzo en los pilotes, que según los cálculos será generado en el hincado no debe ser excedido por el equipo.

Para pilotes de acero se impide el daño al hincarlos siempre que el esfuerzo a compresión en el hincado no exceda el 90% del punto de cedencia del material.

Para el concreto los esfuerzos a tensión no pueden ser mayores a

$$3\sqrt{f'c} + \text{pre} - \text{esfuerzo}$$

Y para la compresión el esfuerzo durante el hincado no debe ser mayor que $0.85 f'c$ - pre-esfuerzo.

Para pilotes de madera el esfuerzo a compresión en el hincado no debe ser mayor que tres veces la resistencia descrita por el diseño estático.

Estos criterios deben ser observados para determinar si un equipo es aceptable.

1.4.2. Preparación para el hincado.

Cuando se hacen perforaciones para facilitar el hincado de los pilotes, estas deben estar totalmente terminadas antes de hincar el primer pilote. Las perforaciones deben ser de un diámetro o sección transversal menor al del pilote a hincar y deben ser suficientemente profundas para permitir el hincado del pilote hasta la profundidad especificada. Se permitirá agrandar el diámetro de las perforaciones donde se encuentren lechos rocosos u otras obstrucciones pero luego el espacio entre el pilote y el suelo deben ser rellenados por arena u otro material aprobado por el ingeniero encargado.

