

NORMA VENEZOLANA

COVENIN
3624:2000

SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS EN AGUAS LACUSTRES Y SOMERAS

MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL SECTORIAL DE EQUIPAMIENTO URBANO



PRÓLOGO

La presente norma fue elaborada de acuerdo a las directrices del Comité Técnico de Normalización **CT3 Construcción**, por el Subcomité Técnico **SC1 Edificaciones** y aprobada por **FONDONORMA** en la reunión del Consejo Superior **Nº 2000-07** de fecha **26/07/2000**.

En la elaboración de esta norma participaron las siguientes entidades: Ministerio de Infraestructura; FUNVISIS; PDVSA; IMME; UCV Facultad de Ingeniería; Comisión AD-HOC Normativas Sismorresistentes de FONDONORMA.

**NORMA VENEZOLANA
DISEÑO SISMORRESISTENTE
DE ESTRUCTURAS EN AGUAS
LACUSTRES Y SOMERAS**

**COVENIN
3624:2000**

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma Venezolana establece los criterios mínimos para el diseño sismorresistente de nuevas plataformas ubicadas en aguas lacustres y someras. Igualmente, se aplica en la evaluación de plataformas existentes.

1.2 Esta Norma debe ser utilizada en conjunto con la Norma Venezolana COVENIN 3621.

1.3 El contenido de esta Norma presupone que el diseño de los elementos estructurales se basa en los estados límites de agotamiento (resistencia última). Los criterios empleados presuponen un adecuado control de calidad en la fabricación de materiales y componentes, incluyendo evaluaciones periódicas de la capacidad resistente de los elementos estructurales que tienen una función primordial en la protección sísmica de la instalación.

1.4 La información geotécnica empleada debe ser representativa de las condiciones del área.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Venezolana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión se recomienda a aquellos que realicen acuerdos con base en ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones mas recientes de las normas citadas seguidamente:

2.1 Normas Venezolanas COVENIN

COVENIN 1618:1998 Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites

COVENIN 1753:1987 Estructuras de concreto armado para edificaciones. Análisis y diseño

COVENIN 1756:1998 Edificaciones sismorresistentes

COVENIN 3621 :2000 Diseño sismorresistente de instalaciones industriales

COVENIN 3622:2000 Diseño sismorresistente de recipientes y envases

COVENIN 3623:2000 Diseño sismorresistente de tanques metálicos

2.2 Guías de Ingeniería PDVSA

9061.5.1.015 Análisis sísmico de estructuras en aguas lacustres y someras.

2.3 Otras Normas

Hasta tanto se aprueben las Normas Venezolanas COVENIN respectivas, se deben consultar los documentos siguientes:

ACI 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete

ACI 357 R-84 Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures.

API RP 2A LRFD Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms.

AISC LRFD Manual of Steel Construction. Load & Resistance Factor Design.

3 TERMINOLOGÍA

3.1 Definiciones

Para el propósito de esta Norma Venezolana se aplican las siguientes definiciones junto con la terminología correspondiente a la Norma Venezolana COVENIN 3621

3.1.1 Firme

Estrato de suelo que subyace al lodo (véase definición de lodo en Anexo B).

3.1.2 Fundación

Infraestructura de las instalaciones lacustres, formada por pilotes, cabezales y tubos o vigas de riostra.

3.1.3 Módulo o paquete

Estructura e instalaciones y equipos, colocados sobre la fundación.

3.1.4 Tubo o riostra

Tubos metálicos con ambos extremos embutidos en los cabezales de concreto, cuya función principal es la de mantener estables las fundaciones hasta que sean colocados los paquetes metálicos.

3.2 Notación

FLS es la capacidad axial última en compresión del suelo.

FLP es la capacidad axial última en compresión asociada a la falla estructural del pilote.

4 MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO

4.1 Los movimientos sísmicos de diseño se determinan de acuerdo con lo indicado en la Norma Venezolana COVENIN 3621. Con el Grado de Riesgo (Tabla 1 COVENIN 3621) se selecciona la probabilidad de excedencia anual (p_1) la cual es utilizada en el cálculo de la aceleración horizontal máxima del terreno. Esa aceleración, así como las componentes sísmicas a considerar en el diseño y/o verificación, se calculan de acuerdo con lo establecido en el capítulo 7 de la Norma COVENIN 3621.

4.2 Los espectros de diseño se determinan de acuerdo con el capítulo 8 de COVENIN 3621, utilizando los valores de D establecidos en la sección 5.3 de esta Norma. En ausencia de información experimental, el factor de amortiguamiento necesario para definir la ordenada del espectro en la superficie (ecuación 7.4 de COVENIN 3621), será $\gamma = 5\%$.

4.3 El perfil de suelo para el espectro correspondiente a la componente vertical debe ser representativo de las características predominantes de los estratos que aportan mayor resistencia axial.

5 CLASE ESTRUCTURAL, DESEMPEÑO ESPERADO Y FACTOR DE DUCTILIDAD

5.1 Clasificación según la Clase Estructural

Las clases estructurales aquí definidas se refieren a la estructura que constituye el sistema de fundación (pilotes - cabezales - vigas y otros), donde se apoya el módulo o paquete.

5.1.1 Clase E1

Son estructuras configuradas a partir de parejas de pilotes de concreto pretensado o postensado, inclinados (inclinación mayor que 1:12), conectadas por cabezales en sus extremos superiores, y dispuestas en planos verticales aproximadamente ortogonales. Estas parejas pueden o no estar en combinación con pilotes verticales. Los cabezales están conectados por vigas y, en algunos casos, por losas de concreto. Todos los elementos del sistema (pilotes, vigas, etc.) cumplen con los requisitos especiales para garantizar una adecuada capacidad de deformación inelástica, según lo especificado en la sección 5.4.

5.1.2 Clase E2

Son estructuras de configuración similar a las de la Clase E1, cuyos elementos del sistema (pilotes, vigas, etc.) no cumplen con todos los requisitos para ser clasificados como Clase E1.

5.1.3 Clase E3

Son estructuras configuradas a partir de parejas de pilotes inclinados de concreto armado o acero estructural (inclinación mayor que 1:12), conectadas por cabezales en sus extremos superiores, y dispuestas en planos verticales aproximadamente ortogonales. Estas parejas pueden o no estar en combinación con pilotes verticales. Los cabezales están conectados por vigas de acero y, en algunos casos, por losas de concreto. Todos los elementos del sistema (pilotes, vigas, etc.) cumplen con los requisitos especiales para garantizar una adecuada capacidad de deformación inelástica, según lo especificado en la sección 5.4.

5.1.4 Clase E4

Son estructuras similares a las de la Clase E3, cuyos elementos del sistema (pilotes, vigas, etc.) no cumplen con todos los requisitos para ser clasificados como Clase E3.

5.1.5 Clase E5

Son estructuras configuradas a partir de pilotes verticales (inclinación menor que 1:12), conectados por cabezales en sus extremos superiores, y que forman pórticos aproximadamente ortogonales. Todos los cabezales están conectados por vigas y, en algunos casos por losas de concreto. Los pilotes son de concreto pretensado, postensado, acero estructural o armado. Todos los elementos del sistema (pilotes, vigas, etc.) cumplen con los requisitos especiales para garantizar una adecuada capacidad de deformación inelástica, según lo especificado en la sección 5.4.

5.1.6 Clase E6

Son estructuras similares a las de la Clase E5, cuyos elementos del sistema (pilotes, vigas, etc.) no cumplen con todos los requisitos para ser clasificados como Clase E5.

5.1.7 Clase J1

Son estructuras metálicas diagonalizadas del tipo Torre (Jacket), cuyo diseño asegure una elevada capacidad de disipar energía inelásticamente. Satisfacen los requerimientos sísmicos contenidos en la última versión de API RP 2^a, LRFD. Véase Nota 1.

Nota 1. Sección C.4.3.2, Structures not requiring ductility analysis.

5.1.8 Clase J2

Son estructuras metálicas similares a las de la Clase J1, que no satisfacen algunos de los requerimientos contenidos en la última versión del API RP 2A, LRFD Sección C.4.3.2.

5.2 Clasificación según el desempeño esperado

5.2.1 Para las estructuras de las clases E1, E2, E3 y E4 se determinará el tipo de mecanismo que controla la resistencia lateral última. Para ello se compararán los valores de la capacidad axial última de los pilotes y la resistencia a compresión del suelo, definidos por los dos (2) valores siguientes FLS y FLP:

5.2.1.1 FLS

Es la capacidad axial última asociada a la resistencia a la compresión del suelo de fundación, de un pilote inclinado que forma parte de una pareja representativa.

5.2.1.2 FLP

Es la capacidad del pilote comprimido que forma parte de una pareja representativa de pilotes inclinados, cuyos extremos inferiores se deben apoyar sobre un medio infinitamente rígido y resistente; las condiciones de fijación del extremo superior deben ser representativas de la rigidez al giro proporcionada por el conjunto de riostras.

5.2.2 La plataforma clasifica como Tipo I, cuando se cumpla lo siguiente:

$$FLS < 0,70 FLP \quad (1)$$

Esta condición implica asentamientos importantes de la estructura, como consecuencia del eventual desplazamiento permanente por compresión o tracción de los pilotes.

5.2.3 Clasifican como Tipo II aquellas plataformas que no satisfagan la fórmula (1). En este último caso la capacidad lateral última de la estructura está controlada por la capacidad estructural en flexo-compresión de los pilotes inclinados: aparición de rótulas plásticas en las vigas, o en los extremos de los pilotes inclinados, acompañada de la falla por pandeo elastoplástico, de los pilotes comprimidos.

5.3 Factores de ductilidad D

Los factores de ductilidad (D) que se dan a continuación deben ser utilizados para determinar las sollicitaciones sísmicas establecidas en el capítulo 4. Estos se presentan en las Tablas 1 y 2, y se consideran válidos para estructuras con moderada a elevada hiperestaticidad, o estructuras donde se asegure una capacidad de redistribución en caso de falla de algún elemento.

Para el caso de estructuras que no posean suficiente hiperestaticidad, se deben emplear valores de D iguales al 50% de los que se dan en las Tablas 1 y 2, sin que sean menores que la unidad (1,0).

Tabla 1. Factores de ductilidad D

Mecanismo	Clase estructural			
	E1	E2	E3	E4
Tipo I	3,0	2,0	4,0	2,0
Tipo II	1,5	1,0	2,0	1,25

Tabla 2. Factores de ductilidad D

Ductilidad D	Clase estructural			
	E5	E6	J1	J2
	4,0	2,0	4,0	2,0

5.4 Requisitos para asegurar la ductilidad

5.4.1 Los cabezales deben estar en capacidad para transmitir las máximas sollicitaciones de los miembros que concurren a ellos. Para ello se deben satisfacer los requisitos establecidos para dinteles en la Norma Venezolana COVENIN 1753.

5.4.2 Para las vigas de concreto armado, la fuerza cortante de diseño y la armadura de confinamiento de las vigas se debe determinar según lo establecido en el capítulo 18 de la Norma Venezolana COVENIN 1753. La capacidad en flexión última de las vigas no debe ser mayor que el 80% de la menor capacidad en flexión de los pilotes (suponiendo que actúa la carga axial que conduce a la menor capacidad). La armadura principal de las vigas debe ser continua dentro de los cabezales, o se debe anclar de forma tal que se asegure el desarrollo de su capacidad en tracción.

Para las vigas de acero, se debe tener una sección compacta según las prescripciones de la norma AISC-LRFD en su última versión. La capacidad en flexión última de las vigas no debe ser mayor que el 80% de la menor capacidad en flexión de los pilotes (suponiendo que actúa la carga axial que conduce a la menor capacidad).

5.4.3 Los pilotes de concreto deben estar confinados en su extremo superior (extremo que conecta al cabezal) con estribos circulares o hélice continua, en una longitud no menor que tres (3) veces su mayor dimensión transversal. Adicionalmente, deben confinarse en una longitud igual a seis (6) veces su mayor dimensión transversal en la zona inferior, de forma que el centro de la zona confinada coincida con la sección donde se espera que se forme la rótula plástica cuando se alcance el mecanismo de colapso.

Para pilotes de concreto armado el confinamiento se debe hacer según lo prescrito en el capítulo 18 de la Norma Venezolana COVENIN 1753.

En el caso de los pilotes prefabricados de concreto se debe asegurar una adecuada capacidad de deformación inelástica.

Los pilotes de acero deben tener una sección compacta, según lo definido en la norma AISC-LRFD en su última versión.

5.5 Verificación de las condiciones geotécnicas locales

Durante la ejecución se debe recabar toda la información que permita corroborar las hipótesis de diseño para tomar las medidas correctivas que eventualmente sean necesarias para mantener la seguridad del sistema.

6 COMBINACIÓN DE ACCIONES

6.1 Se deben aplicar los criterios establecidos en 4.5 y 10 de la Norma Venezolana COVENIN 3621.

6.2 Los efectos de la acción sísmica no se deben combinar con los efectos de otras acciones ambientales extremas.

6.3 En la determinación de las cargas permanentes se deben incluir los efectos de la flotación.

7 MODELO MATEMÁTICO

7.1 General

7.1.1 El modelo matemático que se utilice para describir la estructura real se debe ajustar a lo establecido en el capítulo 9 de la Norma Venezolana COVENIN 3621.

7.1.2 En el modelaje de los pilotes se debe emplear un número de juntas que permita incorporar su contribución a la respuesta dinámica del conjunto.

7.2 Efectos hidrodinámicos

Para tomar en consideración los efectos hidrodinámicos se debe incluir la denominada masa adicional que proviene de considerar la interacción entre el fluido y la estructura durante las vibraciones sísmicas, la cual se debe añadir a la masa propia del elemento estructural en consideración. Esta masa se puede determinar a partir de los valores indicados en la Tabla 3 de esta Norma Venezolana.

La masa así calculada sólo está asociada a las vibraciones transversales del elemento estructural en consideración; en la dirección axial del elemento, se debe adoptar un valor nulo de esta masa adicional.

7.3 Interacción suelo estructura

El modelo estructural debe incorporar los efectos de la interacción entre la fundación y el suelo circundante. Esto requiere la consideración de las características de resistencia y rigidez del suelo, su variación con la profundidad y el carácter tridimensional del problema.

7.4 Otros efectos

7.4.1 En el caso de elementos estructurales huecos, que mantengan agua en su interior, en el análisis se debe añadir la masa del agua atrapada.

7.4.2 Cuando se considere pertinente, se debe incluir la masa proveniente del crecimiento marino en las superficies sumergidas y zonas de salpique de los elementos estructurales. Donde sea aplicable, se debe incluir el incremento de masa adicional por efectos hidrodinámicos, que se produce por el aumento en la sección transversal del elemento.

8 MÉTODOS DE ANÁLISIS

8.1 General

La respuesta estructural ante los movimientos sísmicos prescritos, se debe determinar con los métodos establecidos en el capítulo 10 de la Norma Venezolana COVENIN 3621.

8.2 Selección del método de análisis

8.2.1 En la selección del método de análisis se deben considerar las características, objetivo del análisis e importancia de la plataforma, así como su sistema de fundación.

8.2.2 El Método de Análisis Modal con Espectro de Respuesta dado en 10.2.1 de la Norma Venezolana COVENIN 3621 es de aplicación general y permite el análisis de las plataformas y sus fundaciones.

8.2.3 En aquellos casos de plataformas que de acuerdo con la Tabla 4.1 de la Norma Venezolana COVENIN 3621, clasifiquen con grados de riesgo A ó B y que presenten una distribución simétrica de masas y rigideces en planta, se podrá utilizar el método estático equivalente de la sección 10.3.2.b de la Norma Venezolana COVENIN 3621.

8.2.4 En casos especiales en los cuales se requiere una opción más refinada de análisis, se debe emplear alguno de los Métodos de Análisis Inelástico dados en la sección 10.4 de la Norma Venezolana COVENIN 3621. Estos métodos son de aplicación obligatoria cuando se requiera estimar la respuesta dinámica inelástica real del sistema. Igualmente, son recomendables para la optimización del diseño estructural.

9 CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS

9.1 Los desplazamientos máximos se obtienen multiplicando los máximos desplazamientos obtenidos de la respuesta elástica de la estructura, por el factor de ductilidad D empleado en el análisis. Cuando se utilicen procedimientos de análisis que no impliquen reducciones de la acción sísmica (por ejemplo acelerogramas), o espectros no reducidos por ductilidad, los desplazamientos máximos elásticos no requieren ser multiplicados por D .

9.2 Los desplazamientos máximos de la estructura, incluido el efecto $P-\Delta$, no deben exceder el 2,5% de la altura, siempre que no generen daños en instalaciones, pasarelas u otros componentes no estructurales conectados a la plataforma.

10 RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

En adición a los requisitos establecidos en la sección 5.4 sobre el diseño de vigas, cabezales y pilotes, a continuación, se dan recomendaciones generales de diseño.

10.1 Hiperestaticidad y rigidez

10.1.1 La configuración de pilotes debe lograr una resistencia y rigidez adecuada en ambas direcciones. El número de parejas debe asegurar un grado de hiperestaticidad adecuado, evitando en lo posible los efectos torsionales.

10.1.2 En general, las uniones rígidas entre el cabezal, los pilotes y las vigas de conexión (tubos de riostra) conducen a una mayor hiperestaticidad y por tanto una mayor posibilidad de redistribución de solicitaciones.

10.2 Distribución de masas y pilotes

Los efectos torsionales introducen una no-uniformidad en la distribución de solicitaciones entre los elementos estructurales. La distribución de pilotes en planta, así como la colocación de equipos y maquinarias debe perseguir el balance de pesos y rigideces a fin de minimizar efectos torsionales indeseables.

10.3 Ductilidad

La ductilidad o capacidad de disipación de energía por deformaciones en el rango inelástico, es un eficiente mecanismo de protección estructural ante la ocurrencia de terremotos. Esta capacidad requiere el estricto

cumplimiento de los requisitos de detallado en las zonas más solicitadas del sistema estructural (extremos de vigas y pilotes).

11 USO DE COMPONENTES ESPECIALES DE PROTECCIÓN SÍSMICA

Se podrán utilizar dispositivos especiales para incrementar el amortiguamiento y/o los períodos del sistema estructural, siempre que se presenten los resultados de estudios experimentales y analíticos que demuestren la efectividad del dispositivo y su estabilidad y duración en la vida útil de la plataforma.

12 CASO DE PLATAFORMAS EXISTENTES

Para la evaluación sismorresistente de plataformas existentes, se debe realizar un análisis detallado de su comportamiento esperado. Para ello se deben utilizar los procedimientos y criterios de esta Norma, conjuntamente con las prescripciones establecidas en el capítulo 13 de la Norma Venezolana COVENIN 3621.

BIBLIOGRAFÍA

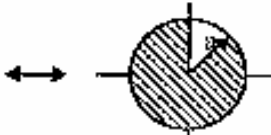
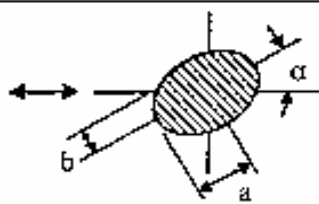
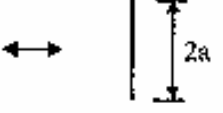
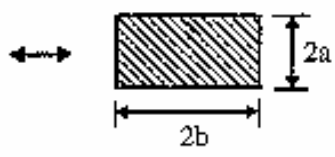
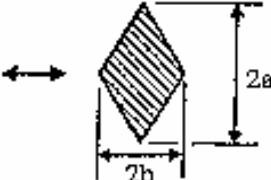
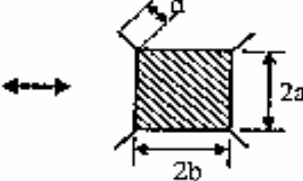
PDVSA N° JA-224 Diseño sismorresistente de estructuras en aguas lacustres y someras. Manual de Ingeniería de Diseño, Volumen 18, Especificaciones de Ingeniería, 1999. Petróleos de Venezuela, S.A.

Barltrop N. y Adams AJ Dynamics of Fixed Marine Structures. Butherwoorth Heinemann Ltd., 1991.

CIRIA Dynamics of Marine Structures, Report UR 8, 1978, (véase Nota 1). The Construction Industry Research and Information Association.

Tabla 3

MASA ADICIONAL POR EFECTOS HIDRODINAMICOS

Sección	Masa por unidad de longitud. La densidad del agua es ρ																
	$\rho \pi a^2$																
	$\rho \pi (b^2 \cos^2 \alpha + a^2 \sin^2 \alpha)$																
	$\rho \pi a^2$																
	$K_1 \rho \pi a^2$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>a/b</th><th>K₁</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.1</td><td>2.23</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.98</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1.70</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.51</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>1.36</td></tr> <tr><td>5.0</td><td>1.21</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>1.14</td></tr> </tbody> </table>	a/b	K ₁	0.1	2.23	0.2	1.98	0.5	1.70	1.0	1.51	2.0	1.36	5.0	1.21	10.0	1.14
a/b	K ₁																
0.1	2.23																
0.2	1.98																
0.5	1.70																
1.0	1.51																
2.0	1.36																
5.0	1.21																
10.0	1.14																
	$K_2 \rho \pi a^2$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>a/b</th><th>K₂</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2</td><td>0.61</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.76</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.85</td></tr> </tbody> </table>	a/b	K ₂	0.2	0.61	0.5	0.67	1.5	0.76	2.0	0.85						
a/b	K ₂																
0.2	0.61																
0.5	0.67																
1.5	0.76																
2.0	0.85																
	$K_3 \rho \pi a^2$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>d/a</th><th>K₃</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.05</td><td>1.61</td></tr> <tr><td>0.10</td><td>1.72</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>2.19</td></tr> </tbody> </table>	d/a	K ₃	0.05	1.61	0.10	1.72	0.25	2.19								
d/a	K ₃																
0.05	1.61																
0.10	1.72																
0.25	2.19																

(1) CIRIA. Dynamics of Marine Structures, Report UR8, 1978.

Anexo A (Informativo) COMENTARIOS

A.1 MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO

A.1.1 Perfil del Subsuelo

Para determinar la respuesta dinámica en las direcciones horizontales, el perfil del subsuelo debe ser seleccionado con base en las características de los estratos superficiales significativos. Estos son aquellos que tienen una contribución no despreciable a la rigidez lateral. Como criterio práctico, son aquellos estratos por debajo de la longitud de comportamiento del pilote (véase A.4.1).

A.1.2 Grado de Riesgo

Los espectros de diseño están directamente relacionados al Grado de Riesgo. En su selección es útil tener presente los resultados de una encuesta hecha por un comité de expertos sobre la importancia relativa de plataformas con diferentes tipos de funciones o servicios.

En la Tabla A.1 se dan los resultados obtenidos, en términos del correspondiente Grado de Riesgo establecido según los criterios del Manual de Ingeniería de Riesgos de PDVSA. Dicha Tabla sirve como guía para la selección del Grado de Riesgo a ser seleccionado en la Tabla 4.1 de la Norma Venezolana COVENIN 3621.

Tabla A.1. Grados de Riesgo para plataformas lacustres típicas

Plataforma Tipo (Uso)	Grado de Riesgo
Plataforma de inyección de gas	C
Plataforma de inyección de agua	B-C
Plataforma de inyección de vapor	B-C
Planta de generación eléctrica	C
Plataforma de subestación eléctrica	B-C
Estación de flujo	C
Plataforma de perforación	B
Plataforma de producción o pozo	A-B
Plantas compresoras de gas	C
Plantas de deshidratación	A-C
Estación de conexión de tuberías	A-B-C
Plataforma de vivienda	C

A.1.3 Amortiguamiento

El valor de 5% adoptado incorpora los mecanismos de disipación de energía vibratoria asociados a la interacción entre los pilotes y el suelo de soporte, así como los asociados a los efectos hidrodinámicos, además del amortiguamiento propio de la estructura.

A.2 CLASE ESTRUCTURAL, DESEMPEÑO ESPERADO Y FACTOR DE DUCTILIDAD

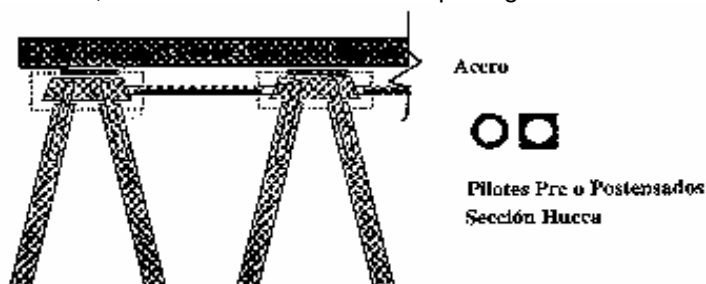
A.2.1 Clase estructural

La caracterización en las ocho (8) Clases Estructurales que se describen en este capítulo obedecen al desempeño esperado de estructuras en aguas lacustres y someras, con el respaldo de experiencias de campo y estudios analíticos.

A continuación se presentan los esquemas de ocho (8) ejemplos de sistemas estructurales típicos usados en el Lago de Maracaibo, se da la Clasificación de dichas estructuras cuando no se cumple con las especificaciones de la sección 5.4 para garantizar la capacidad de deformación inelástica.

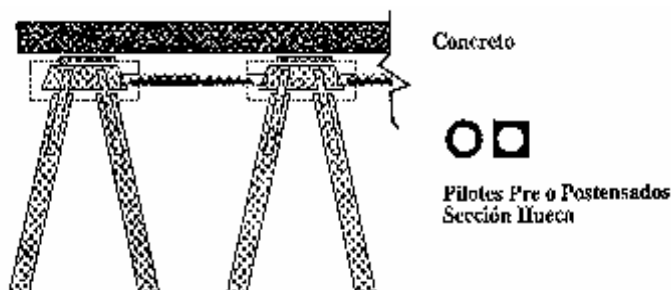
- *Ejemplo N° 1*

Plataforma de acero apoyada sobre fundación formada por parejas de pilotes pre o postensados, de sección hueca, conectados por cabezales; los cabezales están unidos por vigas de acero. Clase Estructural E2.



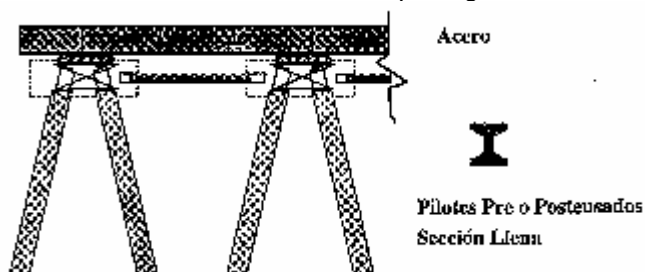
- *Ejemplo N° 2*

Plataforma de concreto apoyada sobre fundación formada por parejas de pilotes pre o postensados, de sección hueca, conectados por cabezales; los cabezales están unidos por losas de concreto o vigas. Clase Estructural E2.



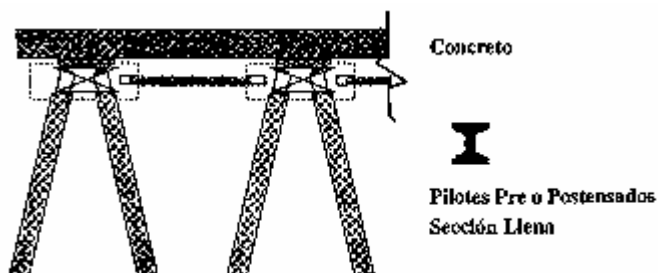
- *Ejemplo N° 3*

Plataforma de acero apoyada sobre fundación formada por parejas de pilotes pre o postensados de sección llena, conectados por cabezales; los cabezales están unidos por vigas de acero. Clase Estructural E2.



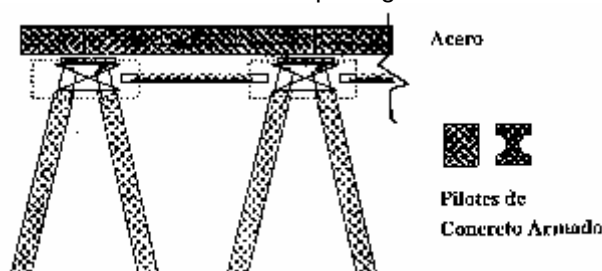
- *Ejemplo N° 4*

Plataforma de concreto apoyada sobre fundación formada por parejas de pilotes pre o postensados de sección llena, conectados por cabezales; los cabezales están unidos por vigas de acero. Clase Estructural E2.



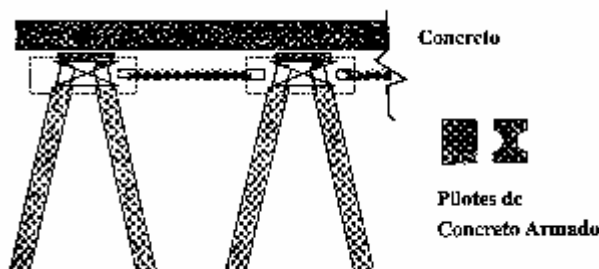
- *Ejemplo N° 5*

Plataforma de acero apoyada sobre fundación formada por parejas de pilotes de concreto armado conectados por cabezales; los cabezales están unidos por vigas de acero. Clase Estructural E4.



- *Ejemplo N° 6*

Plataforma de concreto apoyada sobre fundación formada por parejas de pilotes de concreto armado conectados por cabezales; los cabezales están unidos por vigas de acero o losas de concreto. Clase Estructural E4.



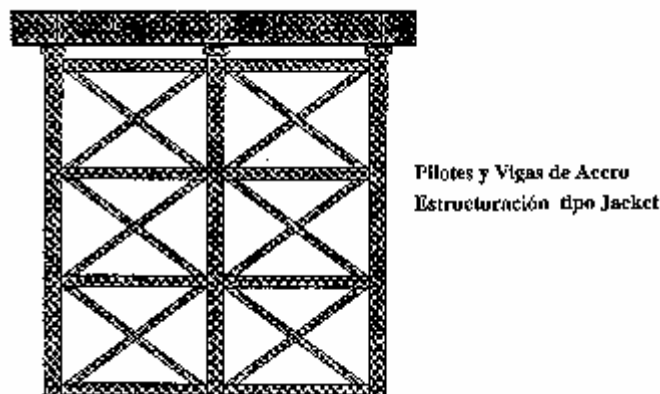
- *Ejemplo N° 7*

Plataforma de acero apoyada sobre fundación formada por pilotes verticales y vigas de acero. Clase Estructural E6.



- *Ejemplo N° 8*

Plataforma de acero apoyada sobre fundación formada por pilotes verticales y vigas de acero diagonalizadas en estructuración tipo Jacket. Clase Estructural J2.



A.2.2 Desempeño esperado

La clasificación según el Desempeño Esperado bajo la acción de sismos intensos, obedece al tipo de mecanismo que controla la capacidad portante de la estructura (véase 5.2). En ambos casos resulta

primordial disponer de información geotécnica representativa, ya que la distinción de los dos (2) mecanismos descritos presupone el conocimiento de la capacidad de soporte del suelo de fundación, en especial de la capacidad portante bajo la acción de cargas cíclicas inducidas por el sismo. En caso de no contar con la información apropiada, se recomienda como hipótesis conservadora suponer el mecanismo que conduzca a las mayores solicitaciones sobre los componentes de la estructura.

A.2.3 Factor de ductilidad

De una manera general, los valores del Factor de Ductilidad dados en las Tablas 1 y 2 son mayores en la medida que el sistema estructural en conjunto posee una mayor capacidad para redistribuir solicitaciones cuando se produce la falla de algún componente, sea por el tipo y detallado de los pilotes y vigas, sea por el mecanismo que genere disipación de energía por la interacción suelo-pilote. Véase 5.3.

Obsérvese que los factores de ductilidad dados en las Tablas mencionadas incorporan otros mecanismos de disipación de energía, adicionales a la energía que disipa la estructura por acción inelástica. En particular, en la Tabla 1 se incluyen los mecanismos provenientes de la interacción suelo-pilote. Plataformas con fundaciones de ocho (8) o más pilotes inclinados, así como con seis (6) o más pilotes verticales, adecuadamente distribuidos, se considerarán que poseen hiperestaticidad moderada a elevada.

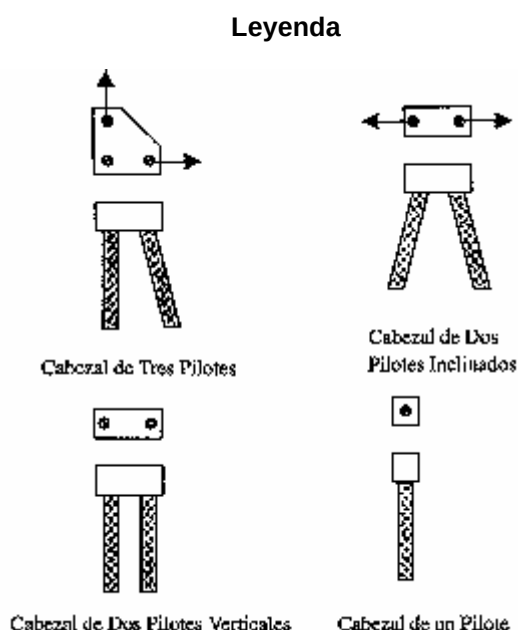
A.2.4 Requisitos especiales para el diseño de vigas y pilotes (véase 5.4)

Aún cuando, el cumplimiento de los requisitos de detallado es primordial, debe tenerse presente que la existencia de pilotes inclinados aporta rigidez y resistencia al sistema. Preferiblemente se debe disponer de un número similar de pilotes inclinados en cada dirección, puesto que la simetría de rigideces a lo largo de los ejes horizontales principales de la estructura, minimiza los efectos torsionales.

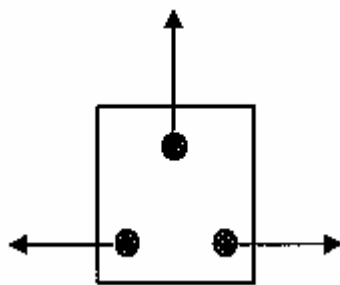
En todos los casos, los cabezales deben estar en capacidad de transmitir la máxima fuerza cortante asociada a las máximas cargas axiales que pueden transmitir los pilotes: sea la máxima capacidad portante de la fundación, o la carga correspondiente al pandeo elastoplástico de los pilotes.

La clase estructural J2 difiere de la J1 en que a la primera no se le exige el cumplimiento de los requisitos de detallado y diseño estipulados en el API RP 2A-LRFD según su última edición.

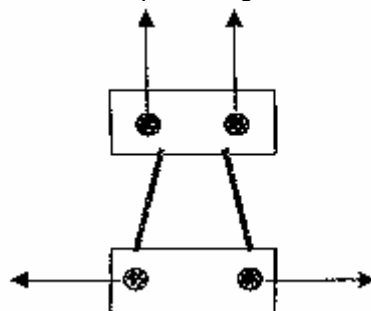
A continuación se presentan los esquemas de 17 ejemplos de sistemas estructurales empleados en el Lago de Maracaibo, los mismos se presentan a modo ilustrativo, indicando su campo de aplicación cuando su utilización es recomendada:



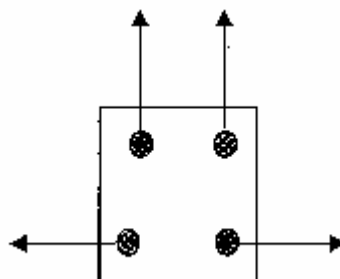
Ejemplo N° 1. Fundación tipo Trípode utilizada para cargas verticales bajas. Hiperestaticidad baja



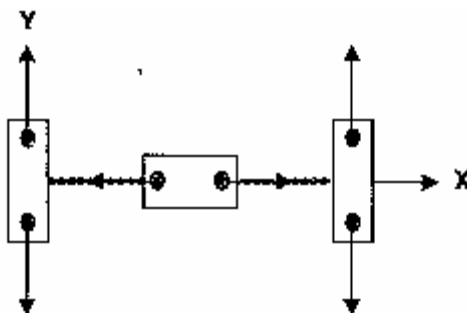
Ejemplo N° 2. Fundación de cuatro pilotes utilizada para cargas verticales bajas. Hiperestaticidad baja



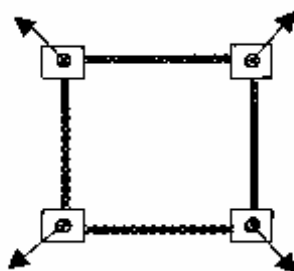
Ejemplo N° 3. Plataforma de atraque: 4 pilotes unidos por un cabezal único, utilizada para cargas verticales bajas. Hiperestaticidad baja



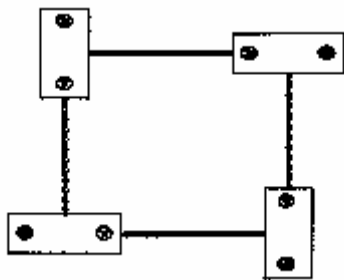
Ejemplo N° 4. Plataforma utilizada para cargas verticales bajas. Hiperestaticidad: media en dirección Y, baja en dirección X



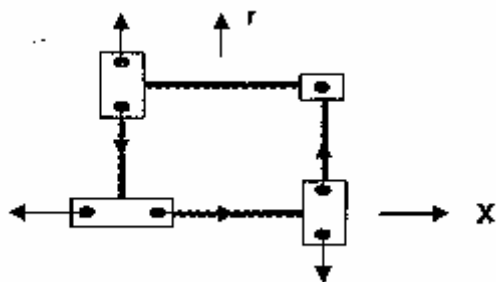
Ejemplo N° 5. Fundación utilizada eventualmente en torres eléctricas con poca profundidad de agua. No recomendada. Hiperestaticidad baja



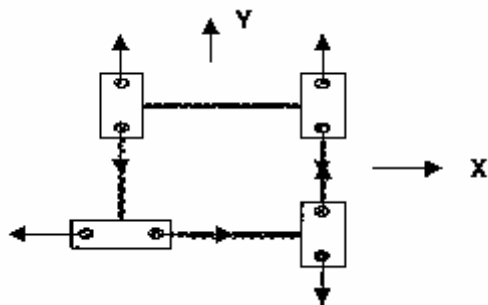
Ejemplo N° 6. Distribución con rigidez lateral limitada, usadas en aguas poco profundas. Hiperestaticidad media



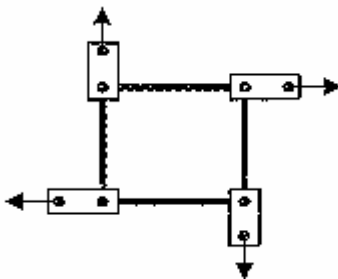
Ejemplo N° 7. Distribución con rigidez lateral irregular, no recomendada. Hiperestaticidad: media Y, baja X



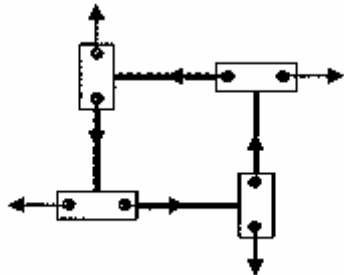
Ejemplo N° 8. Distribución con rigidez lateral irregular, no recomendada. Hiperestaticidad: alta Y, baja X



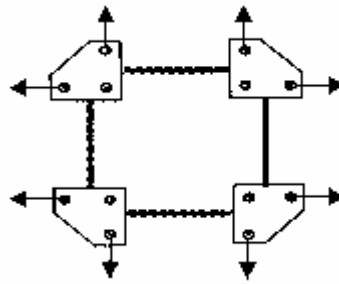
Ejemplo N° 9. Pareja de pilote vertical - inclinado no recomendable. Hiperestaticidad media



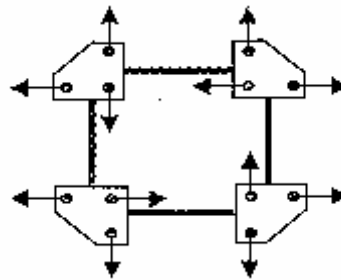
Ejemplo N° 10. Distribución utilizada para pozos y varias plataformas pequeñas. Hiperestaticidad media



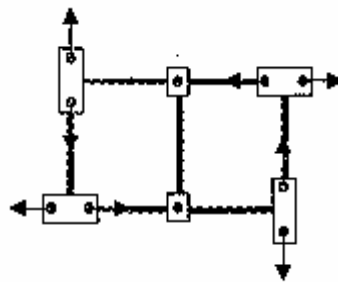
Ejemplo N° 11. Distribución utilizada para pozos lacustres. Hiperestaticidad alta



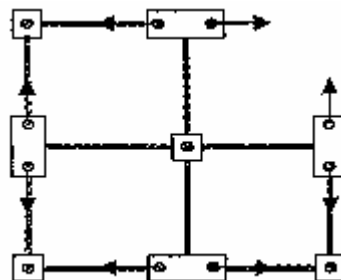
Ejemplo N° 12. Distribución utilizada para pozos lacustres. Hiperestaticidad alta



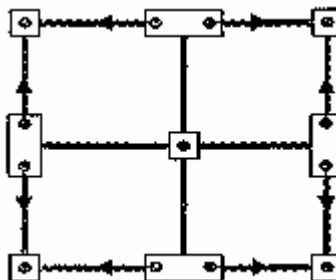
Ejemplo N° 13. Hiperestaticidad media



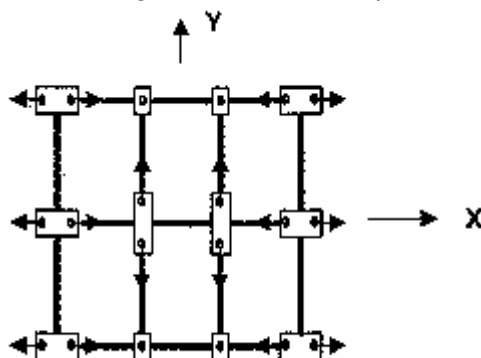
Ejemplo N° 14. Irregular no recomendada. Hiperestaticidad media



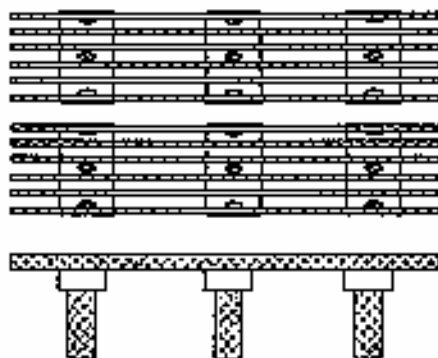
Ejemplo N° 15. Hiperestaticidad baja



Ejemplo N° 16. Distribución no adecuada de rigideces laterales. Hiperestaticidad media Y. Alta X



Ejemplo N° 17. Plataforma no recomendada. Nótese que las vigas de acero están sobre los cabezales sin una conexión rígida.



MODELO MATEMÁTICO

A.3.1 General

A.3.1.1 Si en el modelaje de la plataforma (véase 7.1) se ha supuesto la presencia de uno o más diafragmas rígidos, adicionalmente a la masa del diafragma se debe definir la inercia o masa rotacional alrededor de un eje vertical que pase por el centro de masas del mismo.

A.3.1.2 En el modelaje de los pilotes se simularán juntas (nodos) a distancias no mayores de 5 d; en ningún caso se emplearán menos de tres (3) juntas adicionales a las juntas extremas.

A.3.2 Interacción suelo estructura

A.3.2.1 En el caso de estructuras fundadas sobre pilotes, un método simplificado consiste en reemplazar el suelo por medio de resortes lineales equivalentes, distribuidos a lo largo del pilote, así como en la punta del mismo. Las constantes del resorte deben representar adecuadamente la rigidez efectiva del estrato en consideración y su variación especial. Véase 7.3.

A.3.2.2 En ausencia de resultados de un análisis detallado del sistema pilote-suelo, que permita determinar una longitud de empotramiento equivalente (L_e), ésta puede ser estimada de los siguientes rangos (CIRIA 1978):

- Para arcillas duras: $3,5 d \leq L_e \leq 4,5 d$
- Para suelos muy blandos: $7 d \leq L_e \leq 8,5 d$

Donde d es el diámetro del pilote. Para pilotes no circulares, se puede tomar d como la dimensión del pilote en el plano normal al plano de flexión

A.3.4 Otros efectos

En el Lago de Maracaibo, para profundidades menores o iguales de 15 m, se puede usar un peso de crecimiento marino igual a 30 kg/m^2 de área expuesta. Para profundidades mayores se puede tomar un peso

igual a 15 kg/m^2 . En zonas costa fuera se suele adoptar valores algo más elevados del peso debido al crecimiento marino, (véase 7.4).

A.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

El método de análisis dinámico inelástico que emplea acelerogramas como excitación sísmica en la base de la estructura, se puede utilizar para el análisis de cualquier plataforma. Su uso es recomendable en aquellos casos de plataformas especiales, de importancia vital, cuando se desea optimizar el diseño de la misma, ya que este análisis inelástico permite una determinación más precisa de la respuesta dinámica y de las demandas de ductilidad en los componentes estructurales.

Para este caso, el modelo de la estructura debe incorporar el comportamiento de los materiales en el rango de deformaciones inelásticas, de tipo alternante, incluyendo una estimación realista de la resistencia última de los miembros que la constituyen.

Los parámetros de respuesta dinámica a ser evaluados son: las demandas de ductilidad en miembros, la energía disipada y el número de ciclos inelásticos. Los parámetros de diseño se obtendrán de promediar los valores individuales máximos obtenidos para cada acelerograma.

Los métodos de análisis estáticos inelásticos (sección 10.4.1 de la Norma Venezolana COVENIN 3621) constituyen otra opción para determinar el mecanismo de colapso bajo cargas laterales e identificar los componentes donde se concentran las deformaciones inelásticas.

ANEXO B (Informativo)

B.1 TÉRMINOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMAS

Los siguientes términos son empleados en la construcción de plataformas, y no han sido citados en estas especificaciones:

B.1.1 Cajas prefabricadas o *cajitas*

Cajones prefabricados de concreto con paredes de 10 cm de espesor que se utilizan como encofrados laterales de los cabezales.

B.1.2 Cestas o jaulas

Armadura de refuerzo de los cabezales, la cual es pre-ensamblada en tierra para su traslado a la fundación lacustre.

B.1.3 Cuellos de madera

Listones colocados contra las caras de los pilotes y ajustados a las mismas mediante abrazaderas formadas con perfiles metálicos y pernos. Cuando se ubican al nivel del agua sirven como arriostramientos temporales entre los pilotes, luego de la hincada. Durante la construcción de la fundación se colocan otros juegos de cuellos de madera a un nivel superior, para que sirvan de apoyo a los encofrados de los cabezales.

B.1.4 Fundación Equipo Móvil Liviano (EML) ó “LRM” (Light Rig Mover)

Plataforma para un pozo formada por cuatro (4) cabezales de dos (2) pilotes cada uno y un marco metálico cuadrado de 24' x 24'.

B.1.5 Fundación Equipo Móvil Pesado de 12 pilotes (EMP) ó “HRM” (Heavy Rig Mover)

Plataforma para un pozo formada por cuatro (4) cabezales de tres (3) pilotes cada uno y un marco metálico cuadrado de 30' x 30'.

B.1.6 Fundación Equipo Móvil Pesado de 16 pilotes (EMP)

Plataforma para un pozo profundo (mayor de 15.000') formada por cuatro (4) cabezales de cuatro (4) pilotes cada uno y un marco de concreto cuadrado de 30' x 30'.

B.1.7 Fundación Macolla ó “Macolla”

Plataforma rectangular para diez (10) pozos formada por doce (12) cabezales, 24 pilotes y cinco (5) paquetes metálicos empotrados en los cabezales, más una (1) plataforma de llegada de cuatro (4) pilotes.

B.1.8 Fundación Monopilote ó “Monopilote”

Plataforma para pozo formada por un (1) pilote cilíndrico (?54”) de concreto postensado terminado en una losa de concreto de (4,20 x 2,70) m.

B.1.9 Fundación Trípode ó “FDB” (Foundation Drilling Barge)

Plataforma para uno (1) ó dos (2) pozos, formada por tres (3) pilotes inclinados, unidos por una losa de concreto prefabricada que sirve como cabezal y área de trabajo.

B.1.10 Nivel de Corte

Es la altura desde el nivel del agua hasta la parte más alta del pilote que sobresale.

B.1.11 Lodo

En el Lago de Maracaibo, se define como el estrato superficial de suelo blando convencionalmente ubicado entre el lecho marino y el nivel hasta donde el piloto penetra por efecto de su peso propio y el peso de la campana y martillo de hincado (antes de comenzar la hincada).

B.1.12 Pisos de madera

Tableros apoyados sobre los cuellos de madera, que sirven como andamio de trabajo y encofrado inferior de los cabezales.

B.1.13 Tubo conductor o “Conductor”

Tubo metálico (24” ó 30”) que se hincará simultáneamente con los pilotes y sirve de guía para la perforación del pozo de petróleo.

**COVENIN
3624:2000**

**CATEGORÍA
D**

FONDONORMA

**Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12
Telf. 575.41.11 Fax: 574.13.12
CARACAS**



publicación de: FONDONORMA

I.C.S: 91.120.25

ISBN: 980-06-2541-0

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier
medio.

**Descriptores: Protección sísmica, instalación industrial, diseño sismorresistente,
tanque metálico, ingeniería civil, ingeniería sísmica, sismo.**