



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS

MODELO FÍSICO MATEMÁTICO PARA INTEGRACIÓN DE
MEMORIA DE CONSTRUCCIÓN DE UNA INSTALACIÓN
MARINA COSTA AFUERA AMARRADERO CONVENCIONAL Y
SUS COMPONENTES OPERACIONALES.

TESIS

Que para obtener el Título de:

LICENCIADO EN FÍSICA Y MATEMÁTICAS

PRESENTA

MARIO ALBERTO MIJANGOS CAMPO

ASESOR DE TESIS

DR. GONZALO ARES DE PARGA ALVAREZ

MÉXICO, D. F.

2006



**SI EN LA LID EL DESTINO TE DERRIBA
SI TODO EN TU CAMINO ES CUESTA ARRIBA
SI A TU CAUDAL SE CONTRAPONEN DIQUES
DATE UNA TREGUA.....
PERO,.....
¡NO CLAUDIQUES!**

A MIS ABUELITOS

QUE ME OBSERVAN DESDE EL CIELO

A MIS PADRES

QUE ME GUIAN DESDE LA ETERNIDAD

A MIS TIAS

A TI TIA CARMEN MI SEGUNDA MADRE

A MIS HERMANOS

GUADALUPE, URBANO, JAVIER, RAFAEL, LUIS, DANIEL, PATRICIA,
FLORENCIA, MARINA, JUAN Y JOSE.

POR SU AMOR

GUADALUPE QUE ERES LA GUIA DE LA FAMILIA

A MIS SUEGROS

POR SU APOYO

A MIS PRIMOS Y SOBRINOS

POR SU EJEMPLO

A MIS CUÑADOS CONCUÑAS Y AMIGOS

POR SU CARÍÑO

A MI NIETO

PARA SU EJEMPLO

A MIS HIJOS

MARIO Y CARLOS

¡POR TODO!

A MI ESPOSA E HIJA

ROSA ICELA Y ZUILMA GISSEL

GRACIAS POR TODO SU CARÍÑO, POR SU APOYO...

POR SER COMO SON...

PORQUE GRACIAS A USTEDES SOY LO QUE SOY

LAS ADORO

SON MI FUENTE DE INSPIRACIÓN PARA MIS ACTOS

SON LAS MUJERES DE MI VIDA

SON MIS DOS GRANDES AMORES

LAS AMO



UN AGRADECIMIENTO A TODO EL PERSONAL ACADÉMICO Y ADMINISTRATIVO DE LA ESFM POR EL APOYO PARA ALCANZAR ESTA META DE VITAL IMPORTANCIA EN MI VIDA Y DE MI FAMILIA Y EN ESPECIAL A LOS PROFESORES:

- **DR. FERNANDO ÁNGULO BROWN.**
- **M. EN C. LUIS FERNANDO RAMIREZ CENTENO**
- **DR. EDMUNDO DEL VALLE GALLEGOS**

POR SU GRAN MOTIVACIÓN Y CONSEJOS PARA NO DESISTIR DE ESTE OBJETIVO.

CON ADMIRACIÓN Y RESPETO A:

- **ING. CARLOS ALEMÁN PACHECO**
- **ING. MARIA DE LOURDES CASTRO DE ALEMÁN**

POR SU APOYO PARA EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO



Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Instalaciones marinas en general	2
1.3 Clasificación de las instalaciones marinas	2
1.4 Amarraderos convencionales	4
II. ESTUDIOS QUE SE REQUIEREN PARA LA INTEGRACIÓN DE LA MEMORIA	5
2.1 Levantamiento batimétrico del área seleccionada para el desarrollo del proyecto	5
2.2 Estudio de las condiciones climatológicas de la zona	6
2.3 Estudio estratigráfico (geológico) de los suelos marino y terrestre	12
2.4 Proceso de selección del esquema de configuración del amarradero convencional	12
III. PARÁMETROS BASICOS PARA EL CÁLCULO DE LA MEMORIA DEL AMARRADERO CONVENCIONAL	13
3.1 Levantamiento de coordenadas por GPS	13
3.2 Esquema de distribución y localización	13
3.3 Definición de los parámetros para integración de la memoria	15
3.4 Cálculo de algunos parámetros para la integración de la memoria del amarradero convencional	15
3.5 Parámetros básicos para el cálculo de la memoria del amarradero convencional	16
IV. CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZARÁ EL ANÁLISIS	17
4.1 Buque tanque descargado	17
4.2 Buque tanque con 30 % de carga	17
4.3 Buque tanque a plena carga	18
V. CÁLCULO DE LAS SUPERFICIES DEL BUQUE TANQUE	18
5.1 Expuestas al efecto del viento	18
5.2 Expuestas al efecto de la corriente	19
VI. CÁLCULO DE FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL BUQUE TANQUE	20
6.1 Fuerza debido al efecto del viento	20
6.2 Fuerza debido al efecto de la corriente	21
6.3 Fuerza debido al efecto del oleaje	22
6.4 Resumen general de fuerzas	23
6.5 Análisis de las fuerzas sobre el buque operando	24
6.6 Análisis de las fuerzas sobre el buque durante el atraque	25
6.7 Diagrama general de fuerzas sobre el buque en el amarradero convencional	27
VII. CAPACIDAD DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ATRAQUE.	29
7.1 Esquema general de anclaje submarino	29
7.2 Eslabón final	30
7.3 Eslabón giratorio o destorcedor	31
7.4 Eslabón de unión	32



7.5	Eslabón normal de cadena anclaje con concreto grado U-3	33
7.6	Grillete tipo D	34
7.7	Ancla tipo Danfor	35
7.8	Gancho de largado rápido tipo marino ó (tipo pelicano)	37
7.9	Sistema general de amarre y anclaje del boyarín	37
VIII.	CÁLCULO Y DISEÑO DE LA BOYA DE AMARRE.	40
8.1	Cálculo del peso de la placa de tensión	40
8.2	Diseño de la Boya de amarre	41
8.3	Barra de esfuerzos.	42
8.4	Resumen de pesos sobre la boya	43
8.5	Análisis de la estabilidad	44
8.6	Flotación de la boya de amarre	45
8.7	Esfuerzos sobre la boya de amarre (sin buque atracado)	45
IX.	CÁLCULO DE LA TUBERÍA SUBMARINA PARA LA CONDUCCIÓN DE PRODUCTO.	46
9.1	Parámetros fundamentales para él calculo	46
9.2	Peso específico del gas propano LP	47
9.3	Análisis del gasto	48
9.4	Diseño hidráulico	49
9.5	Aislamiento térmico	51
9.6	Acero de refuerzo para sistema de lastrado de tubería	53
9.7	Análisis del sistema de lastre	54
9.8	Análisis de estabilidad del tubo en el lecho marino	55
9.9	Diámetro y presión requerida de bombeo	56
X.	SISTEMAS COMPLEMENTARIOS DE LA LINEA SUBMARINA	58
10.1	Cabezal de playa	58
10.2	Plem submarino	58
10.3	Tren de mangueras submarinas	58
10.4	Válvula de extremo de manguera	59
10.5	Sistema de interconexión rápida	59
10.6	Boya de señalización de posición de mangueras submarinas	59
XI.	PROTECCIÓN CATÓDICA	63
11.1	Área de la boya de amarre a proteger	63
11.2	Corriente de protección requerida	63
XII.	ANÁLISIS DE COSTOS	65
12.1	Costos aproximados de un amarradero convencional	65
12.2	Costos aproximados de un puerto y un muelle de atraque	67
XIII.	CONCLUSIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	68



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Áreas de la República Mexicana cubiertas por los satélites.	7
Figura 2. Trayectorias de los satélites en la zona de estudio.	7
Figura 3. Rosa de vientos de la zona.	11
Figura 4. Levantamiento de coordenadas por GPS del amarradero convencional.	13
Figura 5. Esquema general de localización y distribución del amarradero convencional.	14
Figura 6. Diagrama general de fuerzas actuantes sobre el buque en el amarradero convencional.	28
Figura 7. Esquema general de anclaje submarino.	30
Figura 8. Esquema y características de un eslabón normal.	31
Figura 9. Esquema y características de un eslabón giratorio ó destorcedor.	32
Figura 10. Esquema y características de un eslabón de unión.	33
Figura 11. Características de un eslabón normal de cadena de anclaje con concreto grado U-3.	34
Figura 12. Esquema y características de un Grillete tipo D.	35
Figura 13. Esquema y características de un ancla tipo Danfor.	36
Figura 14. Características de un gancho de largado rápido tipo marino.	37
Figura 15. Sistema general de amarre y anclaje del boyarín.	38
Figura 16. Esquema trigonométrico para cálculo del ángulo de la catenaria.	39
Figura 17. Esquema de la catenaria rotada.	40
Figura 18. Cáncamo de sujeción de la placa de refuerzo.	41
Figura 19. Boya de amarre	41
Figura 20. Perfil estructural para barra de esfuerzos.	42
Figura 21. Esquema de estabilidad de la boya.	44
Figura 22. Esquema de flotación de la boya	45
Figura 23. Tubería submarina con chaqueta y poliuretano	52
Figura 24. Tubería submarina lastrada.	54
Figura 25. Esquema de la tubería submarina en lecho marino.	55
Figura 26. Fuerzas actuantes sobre la tubería submarina.	56
Figura 27. Esquema general de conexión a buque.	61
Figura 28. Boya de señalización para manguera	61
Figura 29. Esquema de flotación boya de señalización.	62



ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Gráfica	Página
Grafica 1. Histograma de las observaciones de las velocidades del viento.	8
Grafica 2. Histograma de las frecuencias de las velocidades del viento.	9
Grafica 3. Histograma del promedio mensual de las velocidades del viento.	10
Grafica 4. Histograma de los promedios estacionales de las velocidades del viento.	11

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla	Página
Tabla 1. Observaciones de las velocidades del viento en intervalos.	8
Tabla 2. Frecuencias de las velocidades del viento.	9
Tabla 3. Promedio mensual de las velocidades del viento.	10
Tabla 4. Promedios estacionales de las velocidades del viento.	10
Tabla 5. Parámetros para el cálculo del modelo.	17
Tabla 6. Peso específico para el esquema de temperaturas.	48
Tabla 7. Descarga real del buque.	49
Tabla 8. Descarga real del buque.	49
Tabla 9. Gas propano a -37°C	50
Tabla 10. Parámetros para la protección catódica.	63



Este trabajo se realizó en el área de desarrollo de proyectos marinos de la empresa Grupo de Construcciones Alemán S.A. de CV y representa un intento de impulsar por parte de la iniciativa privada la integración de nuevas tecnologías que contribuyan a evitar la total dependencia tecnológica de nuestro país



RESUMEN.

El comercio internacional y el desarrollo industrial de los países, son los dos elementos fundamentales que dan origen a la imperiosa necesidad de crear infraestructura marítima portuaria para la interacción comercial mundial y el desarrollo tecnológico de las diversas regiones que conforman la estructura poblacional de un país que cuenta con litorales marítimos.

Por lo tanto si consideramos que el desarrollo tecnológico de un país se fundamenta en el apropiado esquema de explotación, manejo y distribución de sus energéticos, es posible visualizar la gran importancia que implica contar con adecuadas instalaciones portuarias para este fin.

Lo anterior, sobre la base que es a través de buque tanques como se realiza el comercio internacional de materias primas y productos manufacturados, esto debido a la geografía entre los continentes y los costos para el desarrollo de estas actividades.

Si consideramos que nuestro país cuenta con dos grandes litorales y es a través de los puertos marítimos como se realizan estas actividades, sobre todo la distribución de productos derivados del petróleo, aparte de las regiones del litoral del golfo y todas las regiones del litoral del Pacífico, fundamentado en los conceptos señalados anteriormente.

Desde 1905, se ha venido creando la infraestructura portuaria necesaria para garantizar el comercio internacional y el apropiado avance tecnológico equilibrado de las diversas regiones del país, en base a sus desarrollos urbanos.

Sin embargo la gran demanda del manejo de mayores volúmenes y adecuados costos en el manejo de los productos ha generado la necesidad de realizar avances tecnológicos mundiales en la ingeniería marítima y especialmente en la capacidad de transporte de buques tanques, por lo que éstos han aumentado considerablemente en las últimas décadas, de 20.000 TPM hasta 300,000 TPM, lo cual dio origen a un problema mundial.

Y en el caso específico de nuestro país, aunque nuestras instalaciones portuarias fueron proyectadas con un amplio margen de capacidad para su época 20,000 TPM y 30,000 TPM, con este avance tecnológico mundial fue necesario realizar adecuaciones hasta 40.000 TPM.

Sin embargo por el esquema de proyección de construcción de nuestras instalaciones portuarias, la necesidad de manejar buques tanques de mayor capacidad, el desarrollo económico y el manejo de productos como el gas natural y otros, obligan a nuestro país a incursionar en nuevas tecnologías para poder contar con sistemas de atraque de hasta 250.000 TPM.



Dando origen en nuestro país a la integración de instalaciones marítimas costa afuera (torres fijas, monoboyas y amarraderos)

Es importante señalar que en la actualidad nuestro país cuenta con una gran cantidad de estas instalaciones operando y otras en proceso de construcción y proyección para su desarrollo, sin embargo la tecnología y la construcción de éstas es necesario comprarla y recurrir a otros países.

Independientemente de las desventajas que presentan estas instalaciones en las ramas técnicas de su mantenimiento y esquemas operacionales, es de vital importancia considerar las grandes ventajas económicas que presentan éstas en relación con la construcción de un puerto y un muelle de atraque, para los países en vías de desarrollo y que no les es posible realizar grandes inversiones en infraestructura portuaria.

Por lo anterior, el contenido de este trabajo se fundamenta en un modelo físico matemático probado para calcular, diseñar y construir un amarradero convencional de cualquier capacidad, con sus componentes y en cualquier parte del planeta, dados los requerimientos operacionales y las condiciones del área donde se desee realizar el desarrollo del proyecto

Este es un factor fundamental que motivó la ejecución de este modelo físico matemático para la integración de memoria de construcción de una instalación marina costa afuera (amarradero convencional) y sus componentes operacionales.

Otro gran elemento de vital importancia es el de explorar nuevas tecnologías en desarrollo y aportar un pequeño grano de arena en este campo, lo anterior con el objeto de evitar la dependencia económica de los grandes países y que tanto daño le hace a los países en vías de desarrollo como el nuestro.



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

1.1 GENERALIDADES.

Para el manejo de carga blanca y húmeda (derivados de hidrocarburos) por vía marítima a todo lo largo y ancho de sus litorales, los países que cuentan con éstos, se han visto en la necesidad de crear infraestructura portuaria, que va desde dársenas interiores. Antepuertos y puertos, integrados con muelles de diversos tipos y capacidades, los cuales son equipados con los implementos auxiliares adecuados para el manejo de estas cargas en condiciones de máxima seguridad y protección al medio ambiente.

Si consideramos, que nuestro país cuenta con dos grandes litorales, en el golfo de México y el océano Pacífico, además de ser un país exportador e importador de productos manufacturados, materias primas y uno de los productores de petróleo y sus derivados de gran importancia mundial, esto nos indica lo vital que es el desarrollo de la ingeniería e infraestructura portuaria,

Por lo anterior ha sido necesario estructurar programas nacionales para el mantenimiento, adecuación, modernización, búsqueda y creación de tecnología de punta en la rama de instalaciones y transporte por vía marítima, que nos permita estar a la altura de los requerimientos mundiales y desarrollo tecnológico equilibrado de las diversas regiones de nuestro país

Se cuentan con x puertos de altura en el litoral del pacifico y n puertos en el litoral del Pacífico, equipados con muelles tipo espigón y de tablestacado de diversa capacidades adecuadas a sus procesos operacionales en su momento de construcción, o que fueron rehabilitados hasta su máxima capacidad permisible en base a los nuevos requerimientos que fueron surgiendo con el desarrollo tecnológico mundial y del país.

El desarrollo tecnológico en el ramo de la construcción marítima de embarcaciones, abatimiento de costos, la gran demanda del manejo de mayores volúmenes de carga y manejo de productos como gas LP y gas natural por vía marítima, dio origen a la necesidad de crear infraestructura portuaria con capacidades de atraque desde 40,000 TPM hasta 300,000 TPM, así como la creación de nuevas tecnologías para el atraque y proceso operacional de estas embarcaciones en un marco de seguridad y protección al medio ambiente.

El factor económico en los países en vías de desarrollo, es un elemento de vital importancia que ha venido impulsando la creación de la tecnología de las instalaciones costa afuera, toda vez que ésta permite la integración de infraestructura para el atraque y procesos operacionales de embarcaciones de gran capacidad y calado, que independientemente de las desventajas que se puedan presentar, éstas se equilibran con los adecuados programas de



mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, procedimientos operativos y estudios de impacto ambiental adecuados y aplicados correctamente

Por lo anterior, nuestro país cuenta en la actualidad con un gran número de instalaciones marinas costa afuera en operación que van desde plataformas de exploración, explotación, unidades habitacionales, torres fijas, monoboyas y amarraderos, cada una de ellas cumpliendo apropiadamente con la función técnica para la que fueron diseñadas.

Considero importante señalar que en la actualidad existen un gran número de proyectos en vías de desarrollo en nuestro país y este trabajo es producto de la necesidad de integrar en el litoral del Pacífico un amarradero convencional para el manejo de gas.

1.2 INSTALACIONES MARINAS EN GENERAL.

Las instalaciones marinas en general se clasifican por su esquema estructural en fijas (puertos con escolleras y muelles) y semi fijas (instalaciones costa afuera), integradas a una cantidad razonable de kilómetros mar adentro, fijas al lecho marino con sistemas de anclaje donde se obtienen los calados apropiados para las embarcaciones de alto tonelaje de peso muerto.

Una instalación marina en general es un esquema estructural que se integra a una parte del litoral marino, específicamente aprovechando las condiciones climatológicas y geográficas, factibles de controlar en las bahías naturales del litoral, a la cual se le integra un sistema de protección de escolleras y muelles de espigón o tablestacado para el atraque en condiciones fijas de embarcaciones de la capacidad y calado de estas estructuras portuarias.

Las instalaciones marinas costa afuera, son una derivación y desarrollo de ingenierías de menor costo de sistemas de atraque semi fijos para embarcaciones de alto calado y capacidad, que amparados en un estudio apropiado de las condiciones climatológicas y del suelo marino se pueden instalar con sistemas de anclaje submarino en zonas del litoral donde no es posible por la geografía, no-existencia de materiales para su proceso constructivo o los costos son muy elevados.

Las instalaciones costa afuera existentes en la actualidad operando o en vías de proyección en ambos litorales de nuestro país con diversos sistemas de anclaje al lecho marino son; plataformas de exploración y explotación, unidades habitacionales, torres fijas con barcos cautivos, monoboyas y amarraderos convencionales (multiboyas).

1.3 CLASIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES MARINAS.

Las instalaciones marinas en general se clasifican sobre la base del siguiente esquema:

Por su estructura:



- Escolleras con Muelles
- Costa Afuera

Escolleras y Muelles:

- Espigón
- Tablestacado

Por su capacidad en sus muelles:

- De menos de 20,000 TPM
- De hasta 20,000 TPM
- De hasta 35,000 TPM
- De hasta 40,000 TPM
- De hasta 60.000 TPM existe uno operando con amarraderos convencionales auxiliares (proyecto inconcluso)
- De hasta 250,000TPM sólo existen proyectos

Por el tipo de carga:

- Carga blanca o seca
- Carga húmeda, crudo o derivados de hidrocarburos
- Carga de gas natural o LPG

Costa Afuera:

- Unidades Habitacionales
- Plataformas de Exploración y Explotación
- Torre Fija con Buque Cautivo
- Monoboyas
- Amarraderos Convencionales

Por su capacidad:

- Las unidades habitacionales se clasifican por el número de personas que son capaces de albergar
- Las plataformas de exploración y explotación por el volumen de barriles que manejan en su esquema de producción
- Torre fija con Buque Cautivo
 1. De hasta 60,000 TPM
 2. De hasta 150,000 TPM
- Monoboyas
 1. De hasta 60,000 TPM
 2. De hasta 250,000 TPM
- Amarraderos Convencionales
 1. De hasta 25,000 TPM
 2. De hasta 40,000 TPM
 3. De hasta 60,000 TPM

Por el tipo de carga (se maneja pura carga húmeda)

- Plataformas de Exploración y Producción
 1. Crudo maya, istmo u olmeca
 2. Gas natural
- Torre Fija con Buque cautivo
 1. Crudo maya e istmo
- Monoboya
 1. Crudo maya, istmo u olmeca
 2. Derivados del petróleo (gasolinas diesel, turbosina, etc.)



- Amarraderos convencionales
 1. Crudo maya, istmo u olmeca
 2. Derivados del petróleo (gasolinas, diesel, turbosina, etc.)
 3. Gas natural y LPG

Por el número de cámaras (con la que está integrada la instalación) y líneas submarinas (con las que opera)

- Monoboyas
 1. Dos líneas, una cámara y lastre
 2. Tres líneas, dos cámaras y lastre
 3. Cuatro líneas, tres cámaras y lastre
- Amarradero Convencional
 1. Una línea flotante o submarina
 2. Dos líneas flotantes o submarinas
 3. Tres líneas flotantes
 4. Más de tres líneas flotantes

Por el sistema de anclaje submarino (este factor esta relacionado con la capacidad de atraque de la instalación)

- Monoboyas
 1. 4 cadenas y 8 anclas
 2. 8 cadenas y 16 anclas
- Amarradero Convencional
 1. Una cadena y un ancla por boya de amarre
 2. Una cadena, un bloque de concreto y un ancla

Por el número de boyas de amarre:

- Amarradero Convencional
 1. 5 boyarines de amarre
 2. Más de 5 boyarines

1.4 AMARRADEROS CONVENCIONALES.

Una instalación marina costa afuera es una infraestructura portuaria instalada mar adentro integrada entre sus componentes fundamentales con un sistema de anclaje submarino que la mantiene en forma fija sujeta al lecho marino o semi fija con un margen de desplazamiento permisible flotando al nivel del mar en una posición previamente determinada y que permite el atraque de una embarcación, en el caso de las plataformas embarcaciones de flota menor (lanchas de pasaje) para el embarque y desembarque del personal que labora en ésta y en el caso de la torre fija, monoboyas y amarraderos convencionales para el atraque y proceso operacional (carga o descarga de crudo y sus derivados) de los buque tanques (embarcaciones de gran calado), así como el atraque de embarcaciones menores para la operación y mantenimiento de las mismas.

Los componentes fundamentales aparte de la propia instalación costa afuera son: sistemas de medición, un cabezal de playa, líneas submarinas, tren de mangueras submarinas, control de válvulas submarinas (PLEM), mangueras flotantes, válvulas de control operacional de extremo de mangueras, sistema



de interconexión rápida y en algunos casos trampas de envío y recibo de diablos terrestre y submarino para limpieza e inspección de líneas submarinas

Por lo tanto un amarradero convencional es una instalación costa afuera en la que es posible atracar un buque tanque de gran calado y capacidad de TPM en posición semi fija y que a diferencia de una monoboya en la que el buque puede girar 360°, en un amarradero éste se encuentra anclado en una dirección que se determina previamente en el proceso constructivo de ésta, en base a las condiciones climatológicas predominantes analizadas de la zona

Además está constituida a diferencia de la monoboya que cuenta con un solo sistema de amarre, con un conjunto de boyarines de amarre (integrado con su sistema de anclaje submarino) cada uno como un elemento de sujeción y para la distribución de la capacidad de atraque del buque, por lo cual en muchos países se le conoce como sistema multiboyas.

En este tipo de instalación marina en la mayoría de los casos en su diseño se debe considerar el hecho de que el buque tanque requiera emplear el uso de las anclas de la propia embarcación.

El diseño del esquema estructural de la instalación se fundamenta en los estudios batimétricos, climatológicos predominantes en la zona, geológicos del suelo marino y terrestre, análisis de condiciones extremas (ciclones) y de impacto ambiental en la zona.

Siendo de vital importancia determinar el calado operativo y para la capacidad de la instalación el número de boyarines, la capacidad de cada sistema de amarre y sus componentes, así como el número y la distribución apropiada de los mismos, para determinar la orientación que tendrá el buque durante su atraque y proceso operacional.

CAPÍTULO II. ESTUDIOS QUE SE REQUIEREN PARA LA INTEGRACION DE LA MEMORIA.

2.1 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO DEL AREA SELECCIONADA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO.

Este levantamiento del área seleccionada para el desarrollo del proyecto se realiza con una ecosonda marina para la elaboración de la barimetría y un geoposicionador satelital para determinar las coordenadas del área del levantamiento, esquema teórico de distribución de los boyarines de amarre, sistema de anclaje submarino de cada una y trayectoria de la línea submarina

La barimetría contiene aparte de coordenadas de localización del área, las diversas curvas de nivel de profundidad del nivel medio de máxima marea al lecho marino y en base a la escala determinada en la cuadrícula de la



ecosonda el registro de las profundidades del nivel medio de marea al lecho marino, del área que se determinó para la realización del estudio.

El análisis de resultados del estudio batimétrico nos permite determinar el sitio más apropiado con las profundidades necesarias para realizar el proceso de atraque y permanencia durante la operación del buque, además de los calados y capacidad en TPM máximos permisibles para la integración del cálculo de la memoria del amarradero convencional

Es importante señalar que el análisis de resultados de este estudio debe interpolarse con el análisis de los otros estudios necesarios para la integración del proyecto.

Este estudio lo realiza cualquier empresa que se dedica a realizar trabajos de esta rama de la tecnología.

2.2 ESTUDIO DE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA.

Estos estudios los realizan fundamental mente instituciones que cuentan con estaciones metereológicas instaladas permanentemente o se puede realizar con la instalación de boyas metereológicas en el área seleccionada para el estudio, siendo necesario realizar análisis comparativo de resultados entre ambos.

Los parámetros motivo de estudio y los métodos planteados son los siguientes:

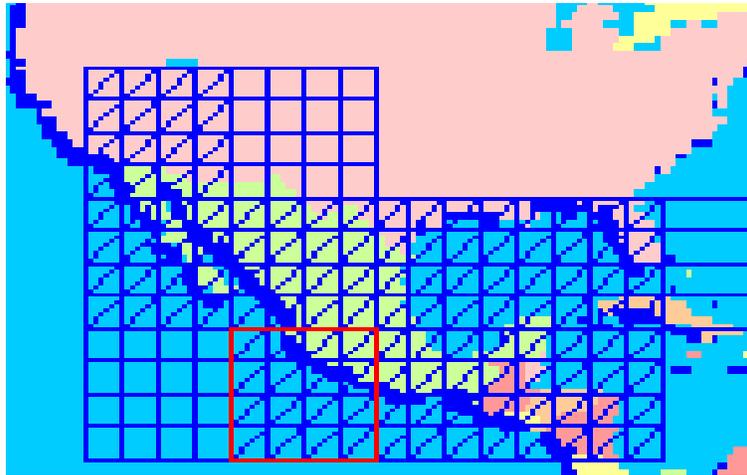
- VIENTO
 1. Viento medido por satélite
 2. Viento medido por boya metereológica instalada en el sitio o anemómetro
- OLEAJE NORMAL
 1. Oleaje medido por satélite
 2. Oleaje medido por boya metereológica instalada en el sitio o mareógrafo
- OLEAJE CICLONICO
 1. Anales de la información existente en banco de datos
 2. Determinación del oleaje ciclónico.

Ejemplificación del análisis del estudio del viento medido por satélite:

El Departamento de Oceanografía de la Comisión Federal de Electricidad, cuenta actualmente con un programa de cómputo, (World Wave Atlas WWA) el cual contiene una base de datos de viento para el Océano Pacífico y el Golfo de México, dicha base contiene las mediciones realizadas por los satélites GEOSAT, TOPEX / POSEIDÓN Y ERS1, correspondientes a un período de 1986 a 1997, del cual se pueden extraer estadísticas de los parámetros, tales como media, desviación estándar, máximos y mínimos.

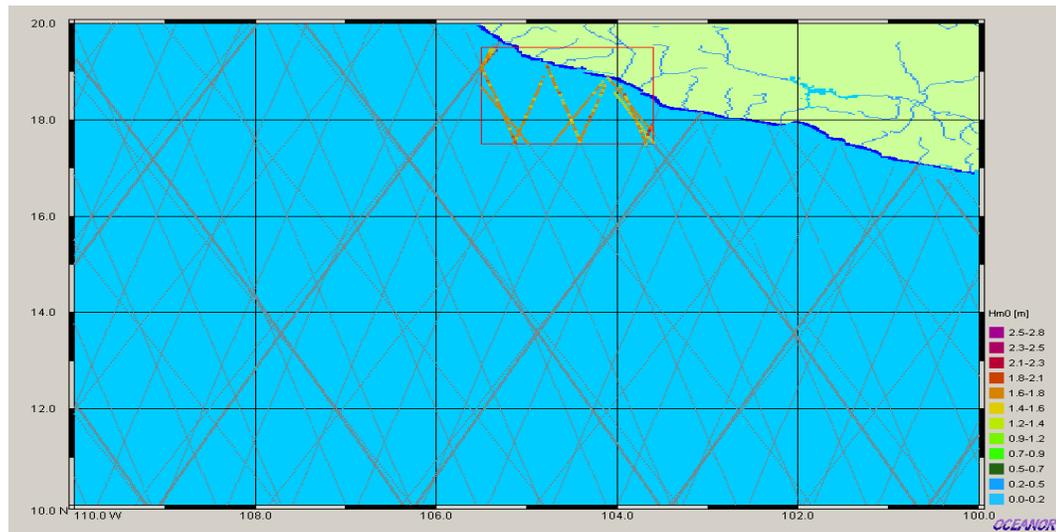


Figura 1. Áreas de la República Mexicana cubiertas por los satélites.



Las coordenadas del área del litoral del puerto de Manzanillo Colima elegida para obtener sus características del viento son $-105,5^{\circ}$ W, $17,5^{\circ}$ N (esquina inferior izquierda), $-103,5$ W, $19,5^{\circ}$ N (esquina superior derecha) ésta contiene un total de 8882 datos. Se pueden observar una serie de líneas las cuales representan las distintas trayectorias de los satélites mencionados.

Figura 2. Trayectorias de los satélites en la zona de estudio.



Como se observa, gran parte de las mediciones realizadas vía satélite son menores a 5 m/s, considerando rangos de 1 m se tiene que menores a 1 m/s existen 876 mediciones, entre 1 y 2 m/s 879, entre 2 y 3 m/s 1954 mediciones la cual es la que tiene mayor número, siguiendo entre 3 y 4 m/s con 1717 y 4 y 5 m/s con 1220, con un total de 6646.

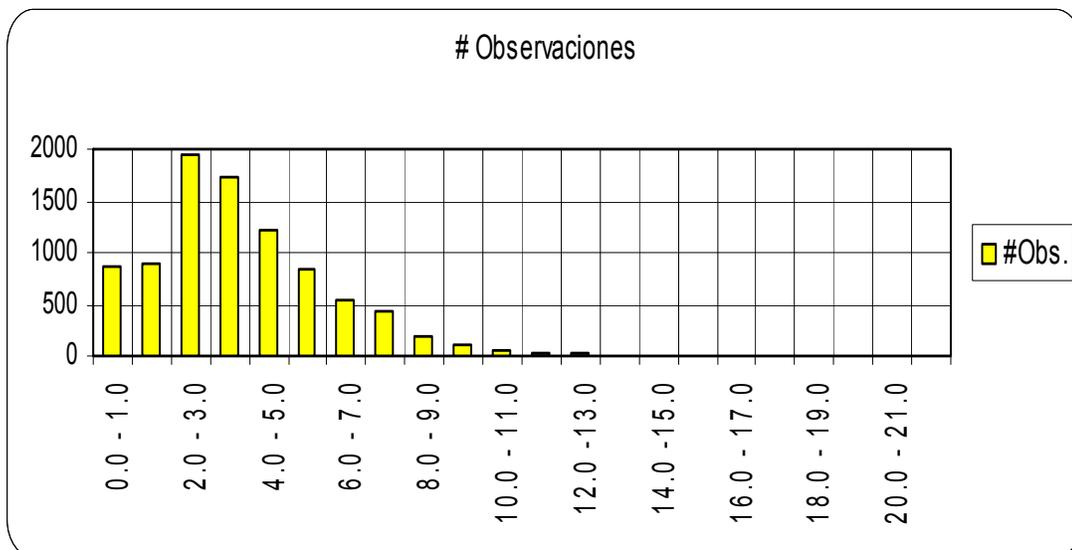


Entre 6 y 10 m/s se tienen un total de 2102 observaciones, entre 11 y 20 m/s sólo 134 observaciones.

Tabla 1. Observaciones de las velocidades del viento en intervalos.

WindSp [m/s]	#Obs.
0.0 - 1.0	876
1.0 - 2.0	879
2.0 - 3.0	1954
3.0 - 4.0	1717
4.0 - 5.0	1220
5.0 - 6.0	831
6.0 - 7.0	540
7.0 - 8.0	427
8.0 - 9.0	195
9.0 - 10.0	109
10.0 - 11.0	46
11.0 - 12.0	29
12.0 - 13.0	15
13.0 - 14.0	10
14.0 - 15.0	13
15.0 - 16.0	7
16.0 - 17.0	4
17.0 - 18.0	3
18.0 - 19.0	2
19.0 - 20.0	2
20.0 - 21.0	1
> 21.0	2

Grafica 1. Histograma de las observaciones de las velocidades del viento.



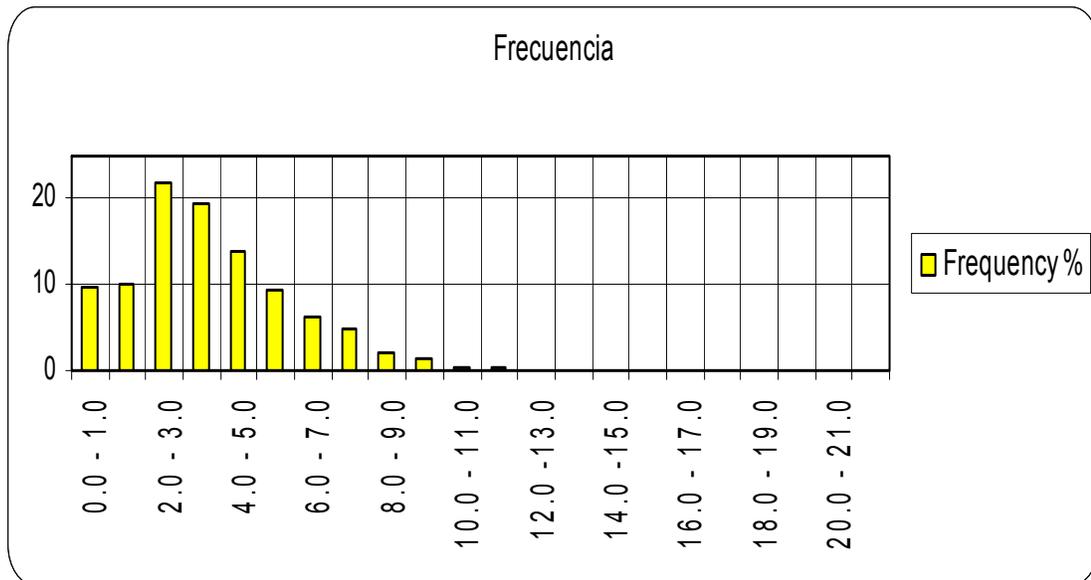
La información de cualquier tipo obtenida por métodos directos e indirectos es muy valiosa para el tipo de estudio que se pretenda realizar. En el caso de la información del viento obtenida por satélite se comprende mejor en porcentajes, así alrededor del 20 % de las mediciones son menores a 2 m, el 55 % se encuentra entre 2 y 5 m/s y 25 % restantes se encuentra entre 5 y 21 m/s.



Tabla 2. Frecuencias de las velocidades del viento.

velocidad [m/s]	Frecuencia %
0.0 - 1.0	9.8626
1.0 - 2.0	9.8964
2.0 - 3.0	21.9995
3.0 - 4.0	19.3312
4.0 - 5.0	13.7356
5.0 - 6.0	9.356
6.0 - 7.0	6.0797
7.0 - 8.0	4.8075
8.0 - 9.0	2.1955
9.0 - 10.0	1.2272
10.0 - 11.0	0.5179
11.0 - 12.0	0.3265
12.0 - 13.0	0.1689
13.0 - 14.0	0.1126
14.0 - 15.0	0.1464
15.0 - 16.0	0.0788
16.0 - 17.0	0.045
17.0 - 18.0	0.0338
18.0 - 19.0	0.0225
19.0 - 20.0	0.0225
20.0 - 21.0	0.0113
> 21.0	0.0225

Gráfica 2. Histograma de las Frecuencias de las velocidades del viento.



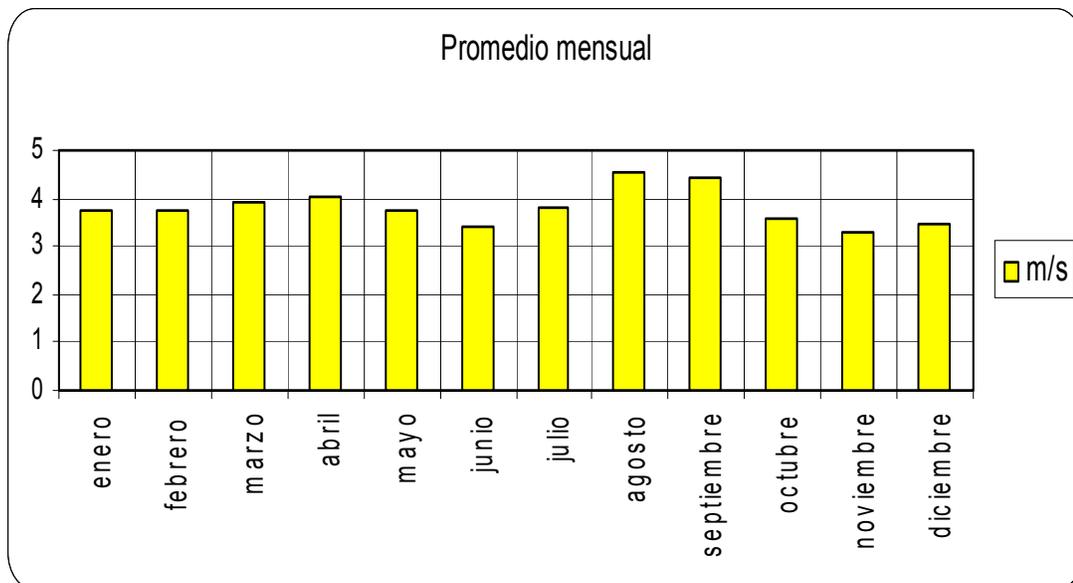
El promedio mensual de las velocidades del viento es muy importante para conocer en qué mes se presentan los máximos y mínimos durante el periodo de mediciones. Nótese que en noviembre se presenta el mínimo promedio mensual con 3.28 y en el mes de agosto se presenta el máximo con 4.57 m/s.



Tabla 3. Promedio mensual de las velocidades del viento.

Mes	m/s
enero	3.74
febrero	3.75
marzo	3.92
abril	4.02
mayo	3.73
junio	3.38
julio	3.79
agosto	4.57
septiembre	4.43
octubre	3.57
noviembre	3.28
diciembre	3.46

Grafica 3. Histograma del Promedio mensual de las velocidades del viento.



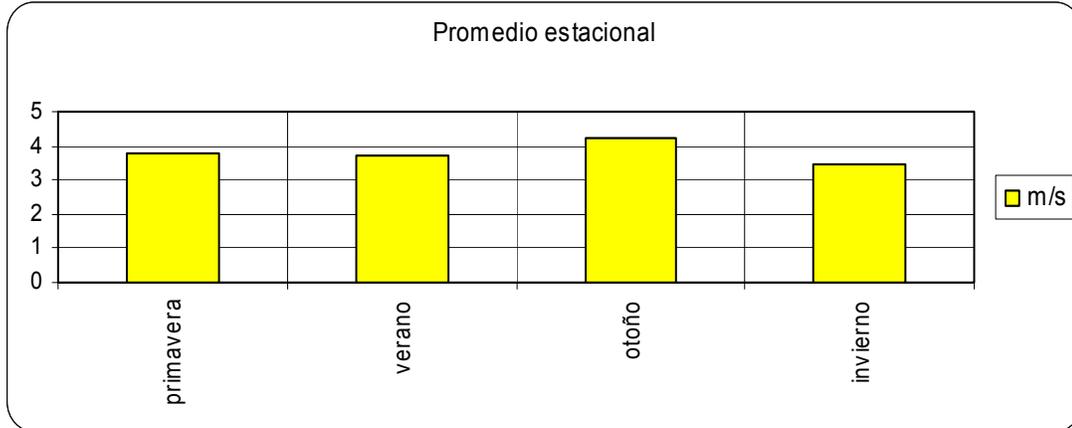
La información del viento es de mucha utilidad en forma estacional, por lo tanto se presentan los promedios estacionales, presentándose el promedio mínimo en el invierno con 3.43 m/s y el máximo en otoño con 4.25 m/s.

Tabla 4. Promedios estacionales de las velocidades del viento.

Mes	m/s
primavera	3.81
verano	3.71
otoño	4.25
invierno	3.43

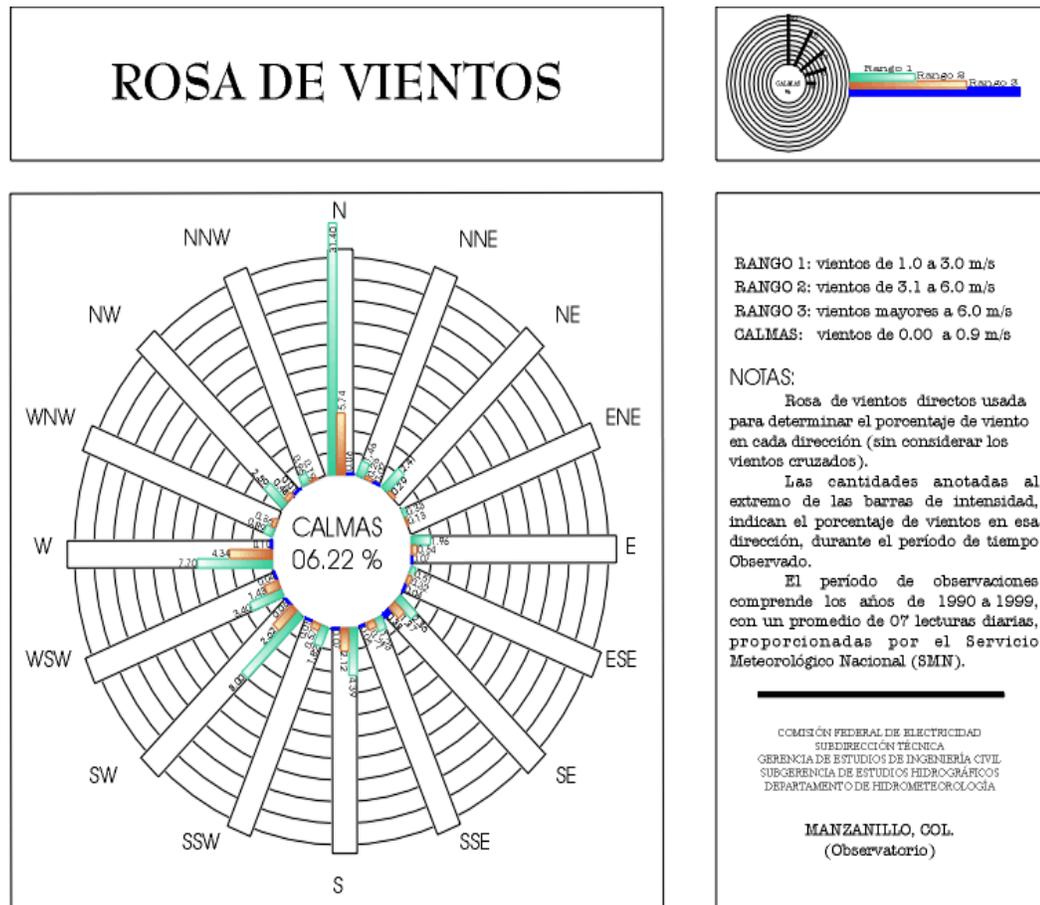


Gráfica 4. Histograma de los Promedios estacionales de las velocidades del viento.



De la fuente de información analizada anteriormente se desprende que el promedio anual de la velocidad del viento en la zona de Manzanillo Colima es de 3.6 m/s.

Figura 3. Rosa de vientos de la zona.





Para el caso del estudio del viento medido por boya meteorológica instalada en el sitio o anemómetro se integró al proyecto un esquema muy similar en base a un programa diseñado en MATLAB 6.5.

Y para el caso de los otros parámetros se emplea un procedimiento similar al del viento (análisis estadístico de resultados y cálculo del valor esperado), dando como resultado el valor que se aplicaran en el modelo para el cálculo de la memoria del proyecto.

2.3 ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO (GEOLÓGICO) DE LOS SUELOS MARINO Y TERRESTRE.

Este estudio se fundamenta básicamente en emplear métodos predeterminados de extracción de muestras y anales de las mismas para determinar el esquema de sedimentación y estratificación del suelo terrestre y marino, lo cual nos permitirá determinar el tipo de anclaje submarino y terrestre de la línea submarina y sus componentes, así como el sistema de anclaje submarino de los boyarines de amarre.

Los resultados de estos estudios se aplicarán en el modelo para el cálculo de la memoria del proyecto.

2.4 PROCESO DE SELECCIÓN DEL ESQUEMA DE CONFIGURACIÓN DEL AMARRADERO CONVENCIONAL.

Este esquema es resultado del proceso de análisis e interpolación de resultados de los estudios del área en las condiciones más apropiadas y los parámetros del buque tanque que se pretende atracar, operar y bajo qué condiciones dentro de un marco de seguridad y protección al medio ambiente durante el mayor tiempo del año.

Los conceptos fundamentales a considerar para determinar el esquema de configuración del amarradero convencional son los siguientes:

- Resultado del estudio de impacto ambiental
- La posición del buque para el proceso de atraque, operación y desatraque.
- Para lo anterior se debe considerar como prioritaria la posición del buque atracado en dirección proa en el sentido lineal de los vientos y corrientes dominantes durante el mayor periodo en el año
- El número de boyarines y su esquema de configuración de amarre en base a la capacidad en TPM y calados operativos en condiciones de máxima seguridad para el personal, buque y medio ambiente del buque tanque que se desea atracar y operar
- Como resultado del estudio de suelo marino, es el esquema de configuración del sistema de anclaje para los boyarines de amarre y el número necesario de éstos

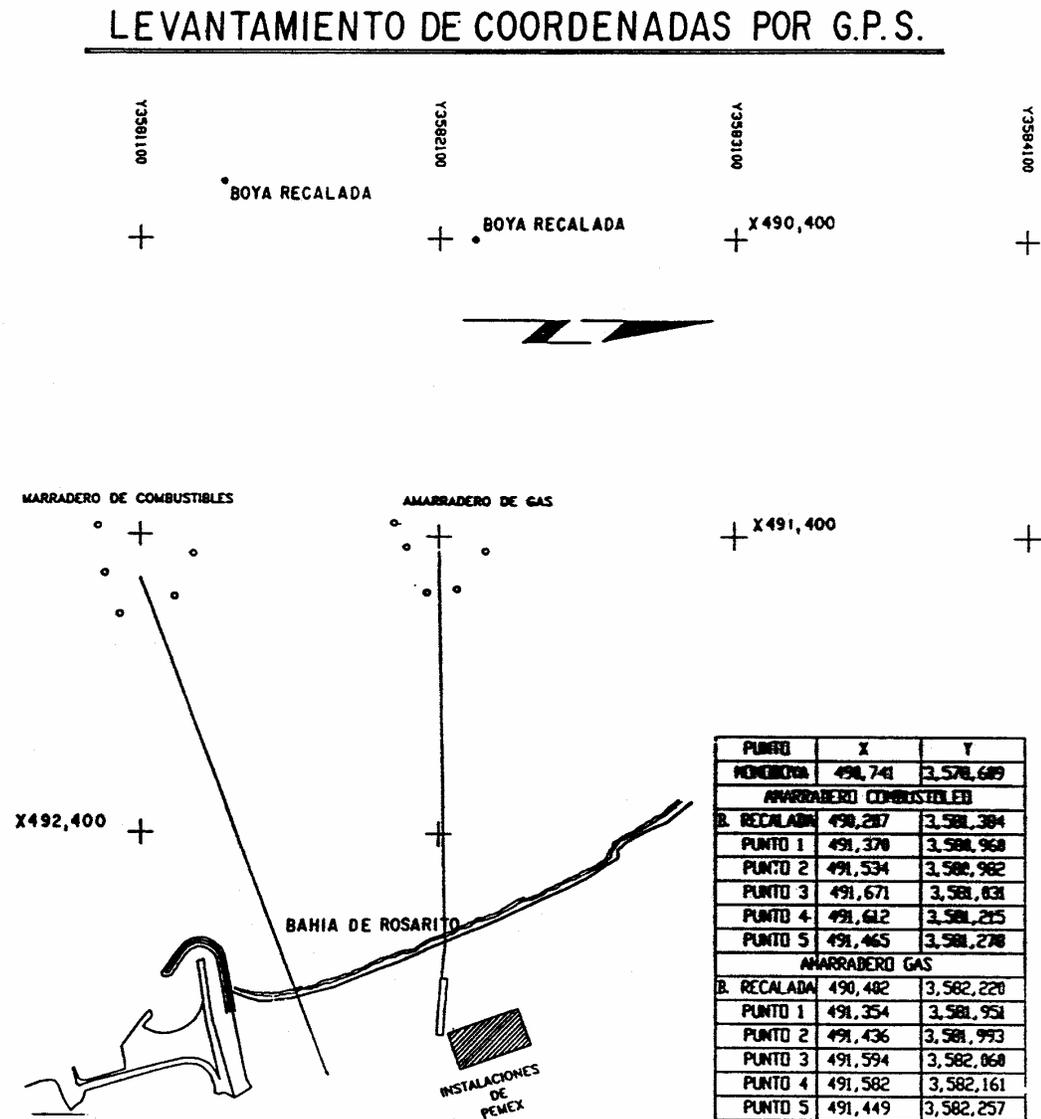


CAPÍTULO III. PARÁMETROS BASICOS PARA EL CÁLCULO DE LA MEMORIA DEL AMARRADERO CONVENCIONAL.

3.1 LEVANTAMIENTO DE COORDENADAS POR GPS.

Este levantamiento se realiza con un geoposicionador satelital GPS y los resultados para el caso de este proyecto son los siguientes:

Figura 4. Levantamiento de coordenadas por GPS del amarradero convencional.



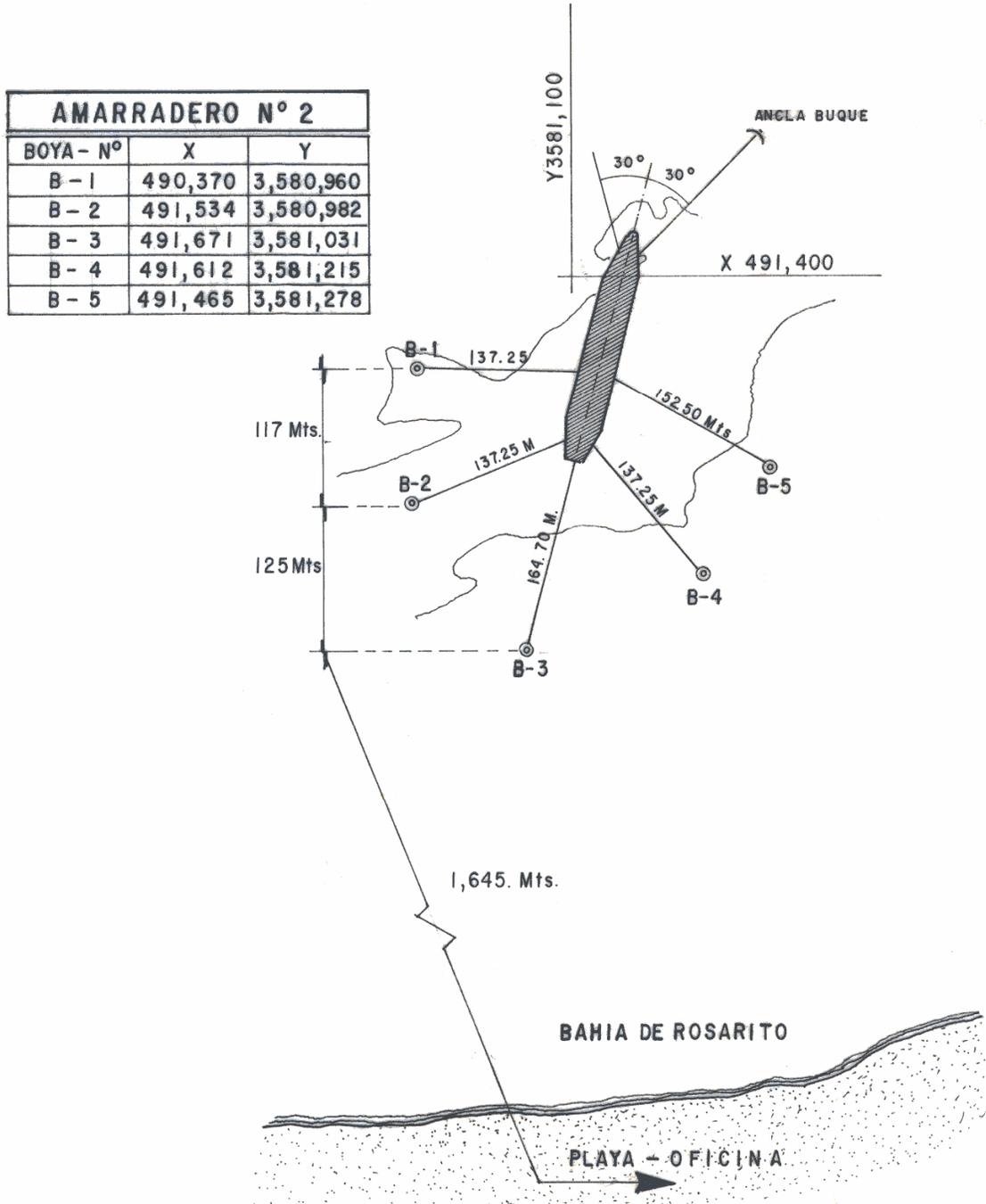
3.2 ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN Y LOCALIZACIÓN.

Se determina a través del modelo y representa la parte complementario del proceso de levantamiento de coordenadas por GPS, quedando determinado



el esquema de configuración, distribución y localización del amarradero convencional, como se muestra en el esquema siguiente:

Figura 5. Esquema general de localización y distribución del amarradero convencional.





3.3 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA INTEGRACIÓN DE LA MEMORIA.

Tonelaje de desplazamiento máximo (TPM): Es el peso total de la embarcación o el desplazamiento total permisible para la embarcación

Tonelaje de desplazamiento rosca (TDR): Representa la capacidad de carga de producto de la embarcación o el desplazamiento permisible en relación con la capacidad de carga

Tonelaje de desplazamiento lastre (TDL): Representa la capacidad de carga de lastre o el desplazamiento máximo que es capaz de soportar el buque de lastre

Eslora: Se considera como la longitud total de la embarcación de proa a popa

Puntal:

Manga:

Calado máximo: es el máximo esquema de inmersión del buque tanque a plena carga

Calado mínimo: es el mínimo esquema de inmersión del buque tanque sin carga

Calado lastre 30%: Es el calado del buque tanque cargado con 30% de lastre de navegación

Franco bordo cargado máximo: Es la altura permisible considerada del nivel medio de máxima marea a la plataforma de operación del buque tanque a plena carga

Franco bordo descargado: Es la altura permisible considerada del nivel medio de máxima marea a la plataforma de operación del buque tanque descargado

Franco bordo lastre 30%: Es la altura considerada del nivel medio de máxima marea a la plataforma de operación del buque tanque cargado con lastre al 30%

Ton / pulgada de inmersión: Es la relación de tonelaje de carga con el calado de inmersión del buque tanque.

3.4 CÁLCULOS DE ALGUNOS PARÁMETROS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA MEMORIA DEL AMARRDERO CONVENCIONAL

Para realizar estos cálculos tenemos las siguientes ecuaciones tomadas del manual de la flota mundial:

$$\begin{aligned}\text{Franco bordo cargado máximo} &= \text{Puntal} - \text{Calado máximo (cargado)} = H - C \\ &= 19m - 12m = 7m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Franco bordo descargado} &= \text{Puntal} - \text{Calado mínimo (descargado)} = H - C_{MM} \\ &= 19m - 4m = 15m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Franco bordo lastre 30\%} &= \text{puntal} - \text{calado lastre 30\%} = H - C_{30\%} \\ &= 19m - 6.40m = 12.60m\end{aligned}$$

Para obtener el **franco bordo**, bajo condición descargada y 30% en lastre, se considerará el tonelaje por pulgada de inmersión y se calculará cuántas pulgadas en base a la diferencia de tonelajes entre plena carga y rosca.

Entonces tenemos que:



Diferencia=Desplazamiento a plena carga-Desplazamiento en rosca

$$\begin{aligned} \text{Diferencia} &= \text{Tonelaje de desplazamiento máximo} - \text{Tonelaje de desplazamiento en rosca} \\ &= 62,000\text{Ton} - 15,530\text{Ton} = 46,470\text{Ton} \end{aligned}$$

Entonces tenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Calado Diferencial} = P_n &= \frac{\text{Diferencia entre Desplazamiento plena Carga y Rosca}}{\text{Ton / pu lg de inmersión}} \\ &= \frac{46,470\text{Ton}}{147.45\text{Ton / Pu lg de inmersión}} = 315.15\text{Pu lg} = 8.0\text{m} \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Calado descargado} &= \text{Calado máximo(cargado)} - \text{Calado diferencial}(P_n) \\ &= 12\text{m} - 8.0\text{m} = 4.0\text{m} \end{aligned}$$

Entonces:

$$\text{Franco bordo descargado} = \text{Puntal} - \text{Calado mínimo(descargado)} = 19.0\text{m} - 4.0\text{m} = 15\text{m D}$$

e igual manera procedemos para el caso del buque tanque en lastre:

Con el 30% de carga seria:

$$(30\%)(\text{Desplazamiento a plena carga} - \text{Desplazamiento en rosca})$$

$$(0.30)(62,000\text{Ton} - 15,530\text{Ton}) = 13,941\text{Ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Desplazamiento diferencial 30\% lastre} = P_{n_{30\%}} &= \frac{13,941\text{Ton}}{147.45\text{Ton / Pu lg de inmersión}} \\ &= \frac{\text{Diferencia}}{\text{Ton / Pug de inmersión}} \\ &= 95.541\text{Pu lg} = 2.40\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{30\%} &= \text{Calado en lastre 30\%} = \text{calado mínimo(descargado)} + P_{n_{30\%}} \\ &= 4.0\text{m} + 2.40\text{m} = 6.40\text{m} \end{aligned}$$

Calculamos el calado mínimo empleando la fórmula:

Entonces tenemos que:

$$C_{MM} = C_M - \frac{P_n}{(L_t)(\beta)(0.81)} = (12.0\text{m}) - \frac{(62,000\text{Ton} - 15,570\text{Ton})}{(216\text{m})(33\text{m})(0.81)} = 3.95\text{m} \cong 4.0\text{m}$$

Donde:

C_{MM} = Calado mínimo

C_M = Calado máximo(cargado)

P_n = Desplazamiento diferencial

L_t = Eslora

β = Manga

3.5 PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE LA MEMORIA DEL AMARRADERO CONVENCIONAL.

El esquema general de los parámetros básicos del buque tanque, para el cálculo de la memoria del amarradero convencional se representan en el cuadro siguiente:



Tabla 5. Parámetros para el cálculo del modelo.

Parámetro		
Tonelaje de desplazamiento máximo o Desplazamiento a plena carga	62,000 Toneladas	
Tonelaje de desplazamiento en rosca o Desplazamiento en rosca	15,530 Toneladas	
Diferencia	46.470 Toneladas	
Tonelaje de desplazamiento en lastre	29,471 Toneladas	
Tonelaje / pulgada de inmersión	147.45 Toneladas	
Eslora (L_t)	216 m	709 pies
Puntal (H)	19 m	62 pies
Manga (β)	33 m	108 pies
Calado máximo (cargado) C_M	12 m	35 pies
Calado mínimo (descargado) (C_{MM})	4 m	13 pies
Calado lastre 30% $C_{30\%}$	6.40 m	21 pies
Franco bordo cargado máximo	7 m	23 pies
Franco bordo descargado	15 m	49 pies
Franco bordo lastre 30%	12.60 m	41 pies

CAPÍTULO IV. CONDICIONES EN LAS QUE SE REALIZARÁ EL ANÁLISIS

4.1 BUQUE TANQUE DESCARGADO.

Es el estatus en la cual el buque tanque se encuentra totalmente descargado (sin carga ni lastre), con un calado máximo de 12.0 m y un franco bordo descargado de 15 m.

Este esquema es únicamente en condiciones muy especiales, debido a que por cuestiones operacionales el buque tanque realiza operaciones de deslastre/ carga o lastre /carga de producto simultáneamente y es difícil que se encuentre totalmente vacío.

Pero cuando se realizan reparaciones a flote, de tuberías o maquinas atracado en el amarradero convencional es necesario vaciar totalmente la embarcación

Por lo anterior, presenta la mayor área expuesta del casco a las condiciones del viento y esto genera los máximos valores esperados en los cálculos para este parámetro, por lo cual es una condición de vital importancia a considerar en los análisis de la memoria de ingeniería.

4.2 BUQUE TANQUE CON 30 % DE CARGA (LASTRE).

Este estatus es el mas normal que se presenta, en base a los procesos operacionales, toda vez que se pretende que el buque esté realizando carga de producto mientras deslastra o carga lastre, lo anterior para poder controlar los tiempos de operación y estadía de la embarcación en el amarradero convencional.



Se encuentra con un calado en lastre 30% de 6.40 m y un franco bordo en lastre 30% de 12.60 m.

Por lo anterior, presenta la proporcional equivalente del área expuesta del casco a las condiciones del viento y la proporcional del área expuesta del casco a las condiciones de la corriente, esto genera los máximos valores esperados en los cálculos para estos parámetros, por lo cual es una condición de vital importancia a considerar en los análisis de la memoria de ingeniería.

4.3 BUQUE TANQUE A PLENA CARGA.

El buque tanque se encuentra equilibrado con la totalidad de la carga y lastre (equilibrio de estiba), preparado estructuralmente para viaje (se pretende evitar el efecto del quebranto en la embarcación).

Se encuentra totalmente cargado, con un calado mínimo de 4.0 m y un franco bordo cargado máximo de 7.0 m.

Por lo anterior, presenta la mayor área expuesta del casco a las condiciones de la corriente y esto genera los máximos valores esperados en los cálculos para este parámetro, por lo cual es una condición de vital importancia a considerar en los análisis de la memoria de ingeniería.

CAPÍTULO V. CÁLCULO DE LAS SUPERFICIES DEL BUQUE TANQUE.

5.1 CÁLCULO DE LAS SUPERFICIES DEL BUQUE TANQUE EXPUESTAS AL EFECTO DEL VIENTO.

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

- 1° Condición buque descargado
- 2° Condición buque 30% de carga (lastre)
- 3° Condición buque a plena carga

Las cuales representan las tres condiciones fundamentales de operación del buque durante su permanencia en el amarradero convencional.

Emplearemos para la realización de este análisis la fórmula de la compañía Inglesa de Seguros **LLOYD'S REGISTER** (datos de la flota mundial)

Entonces tenemos que:

$$A_l = A_{lateral} = L_t(F_L + \alpha_1 H)$$

$$A_f = A_{frontal} = \beta(F_L + \alpha_2 H)$$

Donde:



A_l = Área lateral

L_l = Eslora

F_L = Franco bordo

H = Puntal

A_f = Área frontal

β = Manga

α_1 = Coeficiente de ajuste área lateral = 0.17

α_2 = Coeficiente de ajuste área frontal = 0.19

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$A_l = A_{lateral} = 216m[15.0m + 0.17(19.0m)] = 3,937.68m^2$$

$$A_f = A_{frontal} = 33m[15.0m + 0.19(19.0m)] = 614.13m^2$$

2° Condición buque 30% carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$A_l = A_{lateral} = 216m[12.60m + 0.17(19.0m)] = 3,419.28m^2$$

$$A_f = A_{frontal} = 33m[12.60m + 0.19(19.0m)] = 534.93m^2$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$A_l = A_{lateral} = 216m[7.0m + 0.17(19.0m)] = 2,209.68m^2$$

$$A_f = A_{frontal} = 33m[7.0m + 0.19(19.0m)] = 350.13m^2$$

5.2 CÁLCULO DE LAS SUPERFICIES DEL BUQUE TANQUE EXPUESTAS A LA CORRIENTE.

La fuerza de la corriente toma en cuenta la presión ejercida directamente sobre las superficies sumergidas, así como la fricción.

En este caso se trabajara con las fórmulas en el sistema inglés:

$$A_c \text{ Presión Lateral} = C_{MM} L_T$$

$$A_c \text{ Fricción Lateral} = \beta L_T + 2C_{MM} \beta$$

$$A_c \text{ Presión Frontal} = \beta C_{MM}$$

$$A_c \text{ Fricción Frontal} = \beta L_T + 2C_{MM} L_T$$

Donde:

A_c = Área de exposición a la corriente

C_{MM} = Calado mínimo

L_T = Franco bordo

β = Manga

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:



$$A_c \text{ Presión Lateral} = C_{MM} L_T = (13 \text{ pies})(49 \text{ pies}) = 637 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Fricción Lateral} = \beta L_T + 2C_{MM} \beta = (108 \text{ pies})(49 \text{ pies}) + 2(13 \text{ pies})(108 \text{ pies}) \\ = 8,100 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Presión Frontal} = \beta C_{MM} = (108 \text{ pies})(13 \text{ pies}) = 1,404 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Fricción Frontal} = \beta L_T + 2C_{MM} L_T = (108 \text{ pies})(49 \text{ pies}) + 2(13 \text{ pies})(49 \text{ pies}) \\ = 6,566 \text{ pies}^2$$

2° Condición buque 30% carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$A_c \text{ Presión Lateral} = C_{MM} L_T = (21 \text{ pies})(41 \text{ pies}) = 861 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Fricción Lateral} = \beta L_T + 2C_{MM} \beta = (108 \text{ pies})(41 \text{ pies}) + 2(21 \text{ pies})(108 \text{ pies}) \\ = 8,964 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Presión Frontal} = \beta C_{MM} = (108 \text{ pies})(21 \text{ pies}) = 2,268 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Fricción Frontal} = \beta L_T + 2C_{MM} L_T = (108 \text{ pies})(41 \text{ pies}) + 2(21 \text{ pies})(41 \text{ pies}) \\ = 6,150 \text{ pies}^2$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$A_c \text{ Presión Lateral} = C_{MM} L_T = (35 \text{ pies})(23 \text{ pies}) = 805 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Fricción Lateral} = \beta L_T + 2C_{MM} \beta = (108 \text{ pies})(23 \text{ pies}) + 2(35 \text{ pies})(108 \text{ pies}) \\ = 10,044 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Presión Frontal} = \beta C_{MM} = (108 \text{ pies})(35 \text{ pies}) = 3,780 \text{ pies}^2$$

$$A_c \text{ Fricción Frontal} = \beta L_T + 2C_{MM} L_T = (108 \text{ pies})(23 \text{ pies}) + 2(35 \text{ pies})(23 \text{ pies}) \\ = 4,094 \text{ pies}^2$$

CAPÍTULO VI. CÁLCULO DE FUERZAS ACTUANTES SOBRE EL BUQUE TANQUE.

6.1 FUERZA DEBIDO AL EFECTO DEL VIENTO.

En base a los estudios de las condiciones climatológicas en la zona, se tomarán los siguientes valores para los parámetros siguientes:

Viento = 60 nudos = 111.195 km/hra \approx 111.2 km/hra.

Este es el máximo especificado para instalaciones costa afuera (mar adentro).

Corriente = 0.5 nudos, tomaremos 1 nudo.

Oleaje = 2.5 metros.

Para efectuar el cálculo de la magnitud de la fuerza emplearemos la siguiente ecuación:

$$F_v = CV^2 A = \text{Fuerza Frontal y Fuerza Lateral}$$

Donde:



F_v = Fuerza Debido al Viento en kg

C = Coeficiente = 0.00363

V = Velocidad del Viento en km/h

A = Área expuesta al viento en m^2

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos que:

$$F_v = (0.00363)(111.2)^2 A = 44.89A$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v\ Lateral} = (44.89kg/m^2)(3,937.68m^2) = \frac{176,762.46kg - Ton}{1000kg} = 176.76Ton$$

$$F_{v\ Frontal} = (44.89kg/m^2)(614.13m^2) = \frac{27,568.30kg - Ton}{1000kg} = 27.57Ton$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v\ Lateral} = (44.89kg/m^2)(3,419.28m^2) = \frac{153,491.48kg - Ton}{1000kg} = 153.49Ton$$

$$F_{v\ Frontal} = (44.89kg/m^2)(534.93m^2) = \frac{24,013.01kg - Ton}{1000kg} = 24.01Ton$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v\ Lateral} = (44.89kg/m^2)(2,209.68m^2) = \frac{99,192.54kg - Ton}{1000kg} = 99.19Ton$$

$$F_{v\ Frontal} = (44.89kg/m^2)(350.13m^2) = \frac{15,717.34kg - Ton}{1000kg} = 15.72Ton$$

6.2 FUERZA DEBIDO AL EFECTO DE LA CORRIENTE.

Emplearemos las siguientes ecuaciones:

$$F_c = F_d + F_f$$

$$F_d = A_d K_s (2.86)V^2$$

$$F_f = A_f K_l V^2$$

Donde:

F_d = Fuerza Dinámica(Lbs)

F_f = Fuerza por Fricción(Lbs)

A_d = Área de proyección del casco bajo el agua opuesta a la corriente($pies^2$)

A_f = Área de la superficie sumergida que opone fricción a la corriente($pies^2$)

K_s = Constante de 0.75 a 1.00, dependiendo de la forma del casco bajo el agua(0.90)

K_l = Constante = 0.01

V = Velocidad de la Corriente en nudos(1 *nudo*)



Sustituyendo valores en las ecuaciones tenemos que:

Para la fuerza dinámica:

$$F_d = A_d K_s (2.86)V^2 = A_d (0.90)(2.86)(1)^2 = 2.574A_d$$

Para la fuerza por fricción:

$$F_f = A_f K_l V^2 = A_f (0.01)(1)^2 = 0.01A_f$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{d\ lateral} = (2.574Lbs / pies^2)(637 pies^2) = 1,639.64Lbs = 0.75Ton$$

$$F_{f\ lateral} = (0.01Lbs / pies^2)(8,100 pies^2) = 81Lbs = 0.037Ton$$

$$F_{c\ lateral} = 0.75ton + 0.037Ton = 0.79Ton$$

$$F_{d\ frontal} = (2.574Lbs / pies^2)(1,404 pies^2) = 3,613.90Lbs = 1.64Ton$$

$$F_{f\ frontal} = (0.01Lbs / pies^2)(6,566 pies^2) = 65.7Lbs = 0.030Ton$$

$$F_{c\ frontal} = 1.64ton + 0.03Ton = 1.67Ton$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{d\ lateral} = (2.574Lbs / pies^2)(861 pies^2) = 2,216.22Lbs = 1.007Ton$$

$$F_{f\ lateral} = (0.01Lbs / pies^2)(8,964 pies^2) = 89.64Lbs = 0.041Ton$$

$$F_{c\ lateral} = 1.007ton + 0.041Ton = 1.048Ton$$

$$F_{d\ frontal} = (2.574Lbs / pies^2)(2,268 pies^2) = 5,837.83Lbs = 2.65Ton$$

$$F_{f\ frontal} = (0.01Lbs / pies^2)(6,150 pies^2) = 61.5Lbs = 0.028Ton$$

$$F_{c\ frontal} = 2.65ton + 0.028Ton = 2.68Ton$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{d\ lateral} = (2.574Lbs / pies^2)(805 pies^2) = 2,072.07Lbs = 0.942Ton$$

$$F_{f\ lateral} = (0.01Lbs / pies^2)(10,044 pies^2) = 100.44Lbs = 0.045Ton$$

$$F_{c\ lateral} = 0.942ton + 0.045Ton = 0.99Ton$$

$$F_{d\ frontal} = (2.574Lbs / pies^2)(3,780 pies^2) = 9,729.72Lbs = 4.42Ton$$

$$F_{f\ frontal} = (0.01Lbs / pies^2)(4,094 pies^2) = 40.94Lbs = 0.019Ton$$

$$F_{c\ frontal} = 4.42ton + 0.019Ton = 4.44Ton$$

6.3 FUERZA DEBIDO AL EFECTO DEL OLEAJE.

Para el cálculo de este parámetro se considera el 31% de la magnitud de las fuerzas originadas por el efecto del viento sobre el buque, se tiene como referencia:

(REF. DOCK. AND HARBOUR ENGINEERING. H.P. OZA) CHAROTAR BOOK STALL. TULSI SADAN, STATION ROAD ANAND. (N.RLY). INDIA 1976

Entonces tendremos las siguientes Ecuaciones:



$$F_o.lateral = (0.31)F_v.lateral$$

$$F_o.frontal = (0.31)F_v.frontal$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_o.lateral = (0.31)F_v.lateral = (0.31)(176.76Ton) = 54.80Ton$$

$$F_o.frontal = (0.31)F_v.frontal = (0.31)(47.55Ton) = 14.74Ton$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_o.lateral = (0.31)F_v.lateral = (0.31)(153.4Ton) = 47.58Ton$$

$$F_o.frontal = (0.31)F_v.frontal = (0.31)(44.0Ton) = 13.64Ton$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_o.lateral = (0.31)F_v.lateral = (0.31)(99.19Ton) = 30.75Ton$$

$$F_o.frontal = (0.31)F_v.frontal = (0.31)(35.70Ton) = 11.07Ton$$

6.4 RESUMEN GENERAL DE FUERZAS.

Tendremos que la condición más crítica será cuando las tres fuerzas actúen simultáneamente en el mismo sentido y considerando que es un sistema coplanario de fuerzas se sumaran los tres efectos, la magnitud de la fuerza resultante estará definida de la siguiente manera:

$$\sum F = F_T = F_v + F_c + F_o$$

Donde:

F_T = Fuerza Totalo Resultante

F_v = Fuerzas por efecto del Viento

F_c = Fuerza por efecto de la Corriente

F_o = Fuerza por efecto del Oleaje

Entonces tendremos:

$$F_{T.act.latera} = F_v.lateral + F_c.lateral + F_o.lateral$$

$$F_{T.act.frontal} = F_v.frontal + F_c.frontal + F_o.frontal$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{T.act.lateral} = 176.76Ton + 0.79Ton + 54.80Ton = 232.35Ton$$

$$F_{T.act.frontal} = 47.55Ton + 1.67Ton + 14.74Ton = 63.96Ton$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{T.act.lateral} = 153.49Ton + 1.048Ton + 47.58Ton = 202.12Ton$$

$$F_{T.act.frontal} = 44.0Ton + 2.68Ton + 13.64Ton = 60.32Ton$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:



$$F_{T,act.lateral} = 99.19Ton + 0.99Ton + 30.75Ton = 130.93Ton$$

$$F_{T,act.frontal} = 35.70Ton + 4.44Ton + 11.07Ton = 51.21Ton$$

6.5 ANÁLISIS DE LAS FUERZAS SOBRE EL BUQUE OPERANDO.

En condiciones de operación el viento máximo permisible es considerado de 40 nudos = 74.13 km/hr.

Entonces tendremos:

$$F_v = CV^2 A$$

Donde:

F_v = Fuerza Debido al Viento en kg

C = Coeficiente = 0.00363

V = Velocidad del Viento en km/h

A = Área expuesta al viento en m^2

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos que:

$$F_v = (0.00363)(74.13)^2 A = 19.95A$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v,Lateral} = (19.95kg/m^2)(3,937.68m^2) = \frac{78,556.72kg - Ton}{1000kg} = 78.56Ton$$

$$F_{v,Frontal} = (19.95kg/m^2)(614.13m^2) = \frac{12,251.89kg - Ton}{1000kg} = 12.25Ton$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v,Lateral} = (19.95kg/m^2)(3,419.28m^2) = \frac{68,214.64kg - Ton}{1000kg} = 68.21Ton$$

$$F_{v,Frontal} = (19.95kg/m^2)(534.93m^2) = \frac{10,671.85kg - Ton}{1000kg} = 10.67Ton$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v,Lateral} = (19.95kg/m^2)(2,209.68m^2) = \frac{44,083.12kg - Ton}{1000kg} = 44.08Ton$$

$$F_{v,Frontal} = (19.95kg/m^2)(350.13m^2) = \frac{6,985.09kg - Ton}{1000kg} = 6.98Ton$$

Fuerza debido al efecto de la corriente para buque operando.

Las fuerzas de la corriente serían las mismas calculadas anteriormente.

Fuerza debido al efecto del oleaje para buque operando.

Entonces tendremos las siguientes ecuaciones:

$$F_{o,lateral} = (0.31)F_{v,lateral}$$

$$F_{o,frontal} = (0.31)F_{v,frontal}$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:



1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_o \text{ lateral} = (0.31)F_v \text{ lateral} = (0.31)(78.56\text{Ton}) = 24.35\text{Ton}$$

$$F_o \text{ frontal} = (0.31)F_v \text{ frontal} = (0.31)(12.25\text{Ton}) = 3.78\text{Ton}$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_o \text{ lateral} = (0.31)F_v \text{ lateral} = (0.31)(68.21\text{Ton}) = 21.15\text{Ton}$$

$$F_o \text{ frontal} = (0.31)F_v \text{ frontal} = (0.31)(10.67\text{Ton}) = 3.31\text{Ton}$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_o \text{ lateral} = (0.31)F_v \text{ lateral} = (0.31)(44.08\text{Ton}) = 13.66\text{Ton}$$

$$F_o \text{ frontal} = (0.31)F_v \text{ frontal} = (0.31)(6.98\text{Ton}) = 2.16\text{Ton}$$

Resumen general de fuerzas buque operando.

Tendremos que la condición mas critica será cuando las tres fuerzas actúen simultáneamente en el mismo sentido, por lo que se sumaran los tres efectos:

Entonces tendremos:

$$F_T \text{ act. lateral} = F_v \text{ lateral} + F_c \text{ lateral} + F_o \text{ lateral}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = F_v \text{ frontal} + F_c \text{ frontal} + F_o \text{ frontal}$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_T \text{ act. lateral} = 78.54\text{Ton} + 0.79\text{Ton} + 24.35\text{Ton} = 103.7\text{Ton}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = 12.25\text{Ton} + 1.67\text{Ton} + 3.78\text{Ton} = 17.7\text{Ton}$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_T \text{ act. lateral} = 68.21\text{Ton} + 1.048\text{Ton} + 21.15\text{Ton} = 90.41\text{Ton}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = 10.67\text{Ton} + 2.68\text{Ton} + 3.31\text{Ton} = 34.36\text{Ton}$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_T \text{ act. lateral} = 44.08\text{Ton} + 0.99\text{Ton} + 13.66\text{Ton} = 58.73\text{Ton}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = 6.98\text{Ton} + 4.44\text{Ton} + 2.16\text{Ton} = 13.58\text{Ton}$$

Nota: los análisis para la consideración de la velocidad del viento a 40 nudos en condiciones buque operando, representa una condición más favorable que a velocidad de 60 nudos, toda vez que:

$$F_c \text{ 40Nudos} < F_c \text{ 60Nudos}$$

$$F_c \text{ 40Nudos} = 19.95\text{kg} / \text{m}^2 \text{ A} < F_c \text{ 60Nudos} = 44.89\text{kg} / \text{m}^2 \text{ A}$$

6.6 ANÁLISIS DE FUERZAS SOBRE EL BUQUE DURANTE EL ATRAQUE.

En condiciones de atraque las fuerzas actuantes debido al viento deben calcularse con velocidades de 25 nudos = 46.33 km/hr o bien 5 m/seg. = 54km/hr (tomaremos el máximo).

Entonces tendremos:



$$F_v = CV^2 A$$

Donde:

F_v = Fuerza Debido al Viento en kg

C = Coeficiente = 0.00363

V = Velocidad del Viento en km/h

A = Área expuesta al viento en m^2

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos que:

$$F_v = (0.00363)(54)^2 A = 10.59A$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v,Lateral} = (10.59kg/m^2)(3,937.68m^2) = \frac{41,700.03kg - Ton}{1000kg} = 41.70Ton$$

$$F_{v,Frontal} = (10.59kg/m^2)(614.13m^2) = \frac{6,503.64kg - Ton}{1000kg} = 6.50Ton$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v,Lateral} = (10.59kg/m^2)(3,419.28m^2) = \frac{36,210.18kg - Ton}{1000kg} = 36.21Ton$$

$$F_{v,Frontal} = (10.59kg/m^2)(534.93m^2) = \frac{5,664.91kg - Ton}{1000kg} = 5.66Ton$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{v,Lateral} = (10.59kg/m^2)(2,209.68m^2) = \frac{23,400.51kg - Ton}{1000kg} = 23.40Ton$$

$$F_{v,Frontal} = (10.59kg/m^2)(350.13m^2) = \frac{3,707.88kg - Ton}{1000kg} = 3.71Ton$$

Fuerza debido al efecto de la corriente para buque durante el atraque.

Las fuerzas de la corriente serian las mismas calculadas anteriormente.

Fuerza debido al efecto del oleaje para buque durante el atraque.

Entonces tendremos las siguientes ecuaciones:

$$F_{o,lateral} = (0.31)F_{v,lateral}$$

$$F_{o,frontal} = (0.31)F_{v,frontal}$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{o,lateral} = (0.31)F_{v,lateral} = (0.31)(41.70Ton) = 12.93Ton$$

$$F_{o,frontal} = (0.31)F_{v,frontal} = (0.31)(6.50Ton) = 2.02Ton$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_{o,lateral} = (0.31)F_{v,lateral} = (0.31)(36.21Ton) = 11.23Ton$$



$$F_o \text{ frontal} = (0.31)F_v \text{ frontal} = (0.31)(5.66\text{Ton}) = 1.75\text{Ton}$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_o \text{ lateral} = (0.31)F_v \text{ lateral} = (0.31)(23.40\text{Ton}) = 7.25\text{Ton}$$

$$F_o \text{ frontal} = (0.31)F_v \text{ frontal} = (0.31)(3.71\text{Ton}) = 1.15\text{Ton}$$

Resumen general de fuerzas buque durante el ataque.

Tendremos que la condición más crítica será cuando las tres fuerzas actúen simultáneamente en el mismo sentido, por lo que se sumarán los tres efectos: Entonces tendremos:

$$F_T \text{ act. lateral} = F_v \text{ lateral} + F_c \text{ lateral} + F_o \text{ lateral}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = F_v \text{ frontal} + F_c \text{ frontal} + F_o \text{ frontal}$$

Realizaremos el análisis para las siguientes condiciones de operación:

1° Condición buque descargado:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_T \text{ act. lateral} = 41.70\text{Ton} + 0.79\text{Ton} + 12.93\text{Ton} = 55.42\text{Ton}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = 6.50\text{Ton} + 1.67\text{Ton} + 2.02\text{Ton} = 10.19\text{Ton}$$

2° Condición buque 30% de carga (lastre):

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_T \text{ act. lateral} = 36.21\text{Ton} + 1.048\text{Ton} + 11.23\text{Ton} = 48.49\text{Ton}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = 5.66\text{Ton} + 2.68\text{Ton} + 1.75\text{Ton} = 10.10\text{Ton}$$

3° Condición buque a plena carga:

Sustituyendo valores tenemos que:

$$F_T \text{ act. lateral} = 23.40\text{Ton} + 0.99\text{Ton} + 7.25\text{Ton} = 31.64\text{Ton}$$

$$F_T \text{ act. frontal} = 3.71\text{Ton} + 4.44\text{Ton} + 1.15\text{Ton} = 9.30\text{Ton}$$

Nota: los análisis para la consideración de la velocidad del viento a 54km/hr nudos en condiciones buque durante el ataque, representa una condición más favorable que a velocidad de 60 nudos, toda vez que:

$$F_c 54\text{km/hr} < F_c 60\text{Nudos}$$

$$F_c 54\text{km/hr} = 0.59\text{kg/m}^2 A < F_c 60\text{Nudos} = 44.89\text{kg/m}^2 A$$

6.7 DIAGRAMA GENERAL DE FUERZAS SOBRE EL BUQUE EN EL AMARRADERO CONVENCIONAL.

Si consideramos que el amarradero convencional estará integrado con 5 boyarines de amarre y se establece como esquema de ataque que el buque se fondee con sus dos anclas (a barbas de gato)

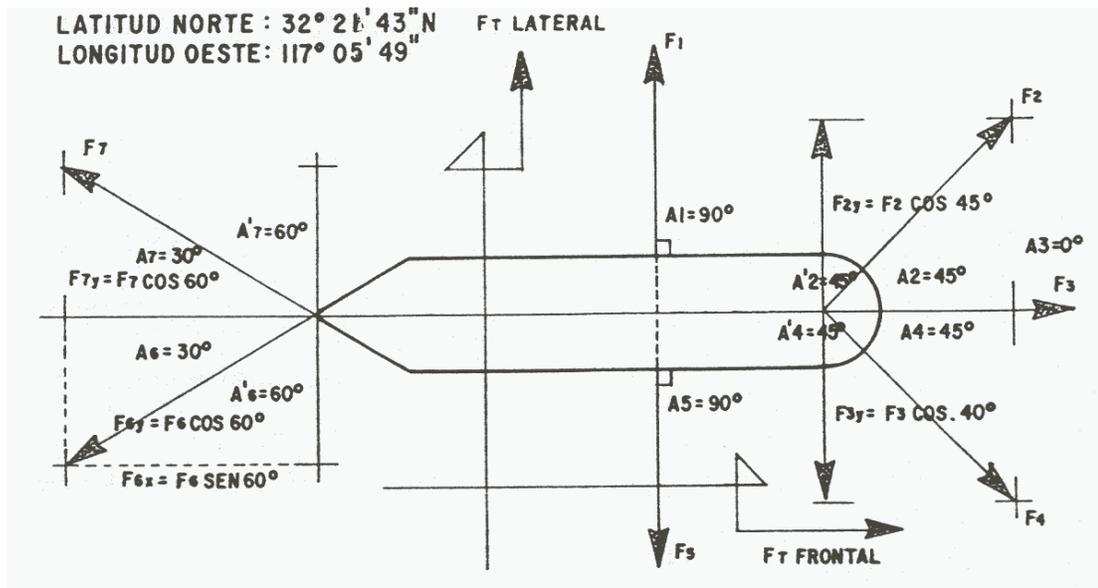
Por lo anterior con fundamento en los análisis de fuerzas que actuando sobre el buque para los diversos factores considerados tendremos lo siguiente:

- La condición más crítica de interacción de fuerzas por los diversos factores, es cuando el buque está totalmente descargado (en rosca),



- con $F_T Lateral = 232.5Ton$ actuando en sentido transversal al buque, es decir esta fuerza se repartirá entre las amarras que se opongan a ella.
- Sin embargo es importante considerar que durante el atraque es probable que accidentalmente recaiga el esfuerzo general (carga total) sobre un solo amarre, por lo cual es necesario analizar la capacidad de la amarra del boyarín para $F_T Lateral = 63.93Ton$ durante el atraque a plena carga, que representa la fuerza actuante máxima para la condición del buque en este estatus.

Figura 6. Diagrama general de fuerzas actuantes sobre el buque en el amarradero convencional.



Fuerza sobre cada amarra en base a las fuerzas actuantes laterales:

El cálculo de la fuerza máxima que se ejercerá sobre cada amarra quedará determinada de la siguiente manera considerando las fuerzas totales actuando en forma lateral en base al diagrama general de fuerzas:

$$\begin{aligned}
 F / cadaAmarra &= \frac{F_T Act.lateral}{F_1 sen\alpha_1 + F_2 sen\alpha_2 + F_7 sen\alpha_7} = \frac{F_T Act.lateral}{F_1 sen90^\circ + F_2 sen45^\circ + F_7 sen30^\circ} \\
 &= \frac{232.35Ton}{F_1(1) + F_2(0.7071) + F_7(0.5)} = \frac{232.35Ton}{2.2071} = 105.27Ton
 \end{aligned}$$

Esta condición se cumple en base a que se dará una distribución uniforme de la carga total del buque.

Entonces tenemos que si:

$$F_1 = F_2 = F_7$$

$$F / cadaAmarra = 105.27Ton$$

La misma condición se da para:



$$F_4 = F_5 = F_6$$

Análisis de la fuerza longitudinal (frontal) sobre el buque:

La máxima fuerza actuando en sentido longitudinal (frontal) al buque es de 63.93 Ton, que es en la condición de totalmente descargado, la cual se manifestará entre las amarras F_6 y F_7 ó F_2 , F_3 y F_4

Por lo cual:

Para los amarres F_2 , F_3 y F_4 tenemos que:

$$\begin{aligned} F / \text{cada Amarra} &= \frac{F_T \text{ Act. frontal}}{F_2 \cos \alpha_2 + F_3 \cos \alpha_3 + F_4 \cos \alpha_4} = \frac{F_T \text{ Act. lateral}}{F_2 \cos 45^\circ + F_3 \cos 0^\circ + F_4 \cos 45^\circ} \\ &= \frac{63.93 \text{ Ton}}{F_2(0.7071) + F_3(1) + F_4(0.7071)} = \frac{63.93 \text{ Ton}}{2.4142} = 26.48 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Esta condición se cumple en base a que se dará una distribución uniforme de la carga total del buque.

Entonces tenemos que si:

$$F_2 = F_3 = F_4$$

$$F / \text{cada Amarra} = 26.48 \text{ Ton}$$

Para los amarres F_6 y F_7 tenemos que:

$$\begin{aligned} F / \text{cada Amarra} &= \frac{F_T \text{ Act. frontal}}{F_6 \cos \alpha_6 + F_7 \cos \alpha_7} = \frac{F_T \text{ Act. lateral}}{F_6 \cos 30^\circ + F_7 \cos 30^\circ} \\ &= \frac{63.93 \text{ Ton}}{F_6(0.866) + F_7(0.866)} = \frac{63.93 \text{ Ton}}{1.7320} = 36.91 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Esta condición se cumple en base a que se dará una distribución uniforme de la carga total del buque.

Entonces tenemos que si:

$$F_6 = F_7$$

$$F / \text{cada Amarra} = 36.91 \text{ Ton}$$

De lo anterior podemos establecer que si el sistema integral del boyarín de amarre esta diseñado para 105.27 Ton de capacidad, tendremos suficiente factor de seguridad para estas fuerzas que genera el buque.

CAPÍTULO VII. CAPACIDAD DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ATRAQUE.

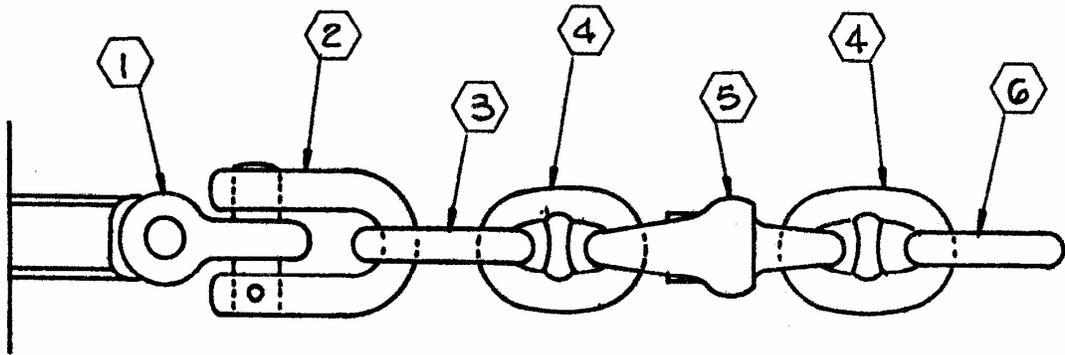
7.1 ESQUEMA GENERAL DE ANCLAJE SUBMARINO.

Este sistema esta estructurado por los componentes que se presentan en el esquema anexo. La capacidad, características, dimensiones y peso de cada elemento se presentan en el esquema particular de cada elemento.



Figura 7. Esquema general de anclaje submarino.

CONEXIÓN AL ANCLA O BOYARIN



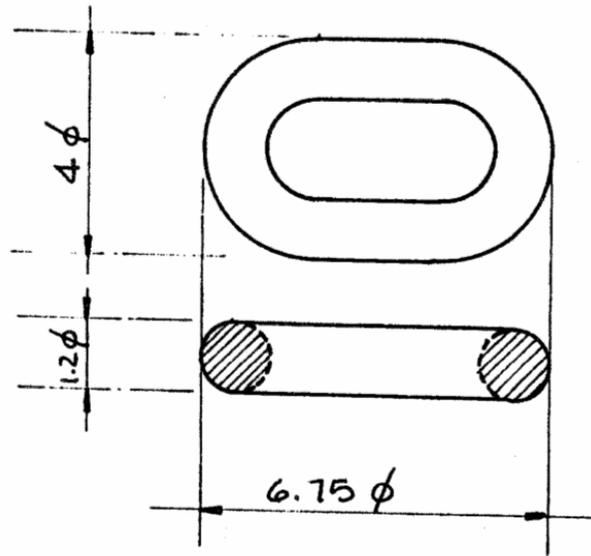
- 1.- CONEXIÓN ANCLA O BOYARIN
- 2.- GRILLETE DE ANCLA TIPO "D"
- 3.- ESLABON FINAL
- 4.- ESLABON GRUESO
- 5.- ESLABON GIRATORIO O DESTORCEDOR
- 6.- ESLABON NORMAL

7.2 ESLABÓN FINAL.

Es el elemento del sistema de anclaje submarino que sirve de unión entre el cancamo de la barra de esfuerzos del boyarín en un extremo y el ancla en el otro extremo, a través de un grillete tipo D con la cadena normal del sistema de anclaje, se encuentra en ambos extremos de la cadena y está conformado por un eslabón de cadena sin concreto de mayor diámetro del de la cadena normal.



Figura 8. Esquema y características de un Eslabón normal.



3.- ESLABON FINAL

DIMENSIONES:

DIAMETRO Ø	LARGO EXTERIOR	ANCHO EXTERIOR
87.5 MM 3 7/16"	493 MM 19 3/8"	292 MM 11 1/2"

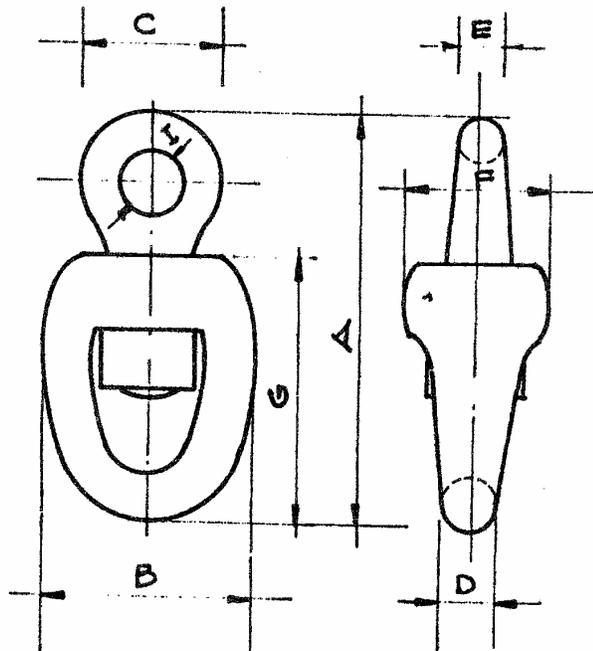
TODAS LAS DIMENSIONES EN MM Y PULGS.

7.3 ESLABÓN GIRATORIO O DESTORCEDOR.

Como se muestra en el esquema, este componente está constituido por dos elementos que giran libremente y se integran a la cadena de anclaje a través de grilletes de unión, su función fundamental es la de evitar los efectos de torsión del sistema y permitir el giro libre del boyarín.



Figura 9. Esquema y características de un eslabón giratorio ó destorcedor.



5.- ESLABON GIRATORIO O DESTORCEDOR

- A = 9.7 d
- B = 4.7 d
- C = 3.8 d
- D = 1.2 d
- E = 1.2 d
- F = 3.8 d
- G = 6.3 d
- I = 1.4 d

DIAMETRO DE CADENA d		DIMENSIONES		
PULG	MM	A (MM)	B (MM)	D (MM)
3"	76	737	357	289

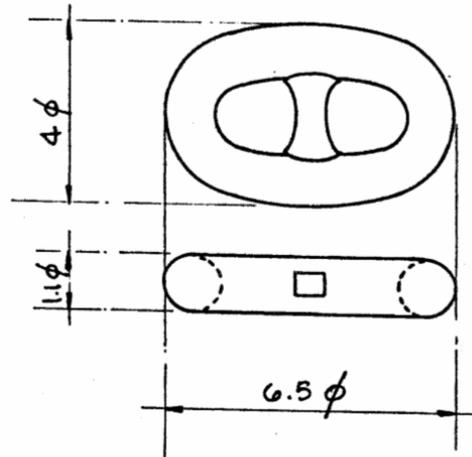
PESO = 159,00 KGS

7.4 ESLABÓN DE UNIÓN.

Es un elemento que se desarma en tres componentes, dos secciones similares y un pasador o perno y que integran un eslabón de cadena con concreto, se emplea para unión de otros componentes donde se requiera.



Figura 10. Esquema y características de un eslabón de unión.



ESLABÓN UNIÓN

DIMENSIONES:

DIAMETRO ∅	LARGO EXTERIOR	ANCHO EXTERIOR
80.5 MM 3 3/16"	475 MM 18 11/16"	292 MM 11 1/2"

TODAS LAS DIMENSIONES EN MM Y PULGS.

7.5 ESLABÓN NORMAL DE CADENA DE ANCLAJE CON CONTRETE GRADO U-3.

Es el componente estructural principal de la cadena, se fabrica en grilletes de 26 metros de longitud.

Como resultado de los cálculos de la memoria de ingeniería podemos utilizar cadena integrada con eslabones normales con concreto grado U-3 tipo "ORQ" ó "ARTIC", Si consideramos una cadena con una resistencia a prueba de 105.27 Ton y un factor de seguridad de 2.5 tendremos:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza de ruptura} &= (2.5)(105.27\text{Ton}) = 263.18\text{Ton} \\ &= (263.18\text{Ton})(9.81/\text{seg}^2) = 2581.80\text{Kn} \end{aligned}$$

En base a lo anterior se requiere emplear cadena de 60 mm de diámetro = 2 3/8" de diámetro, que soporta una carga de prueba 1,940 Kn = 197.95Ton.

Carga de prueba = 197.95 Ton > 105.27 Ton fuerza máxima sobre la amarra.

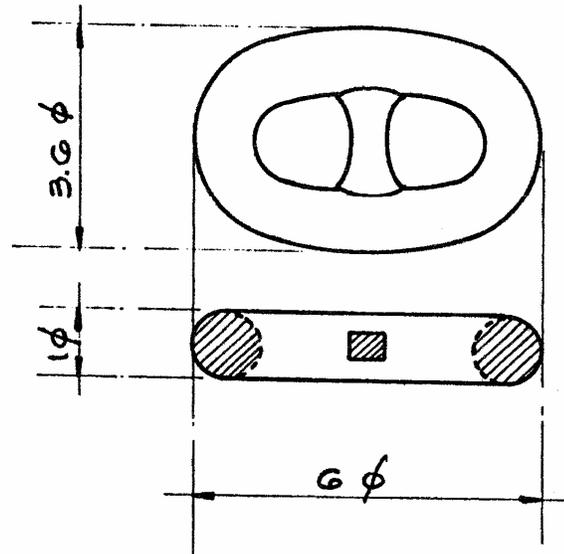
Tendremos un 44.35% de margen de seguridad

- Peso aproximado en el aire = 1500 kg = 54.54 kg/m
- Volumen aproximado = $\frac{0.750m^3}{27.5m} = 0.02727m^3$ por m de cadena.
- El sistema se puede integrar con cadena de 2 3/4" de diámetro = 70 mm de cabrilla, eslabón normal con concreto grado U-3 certificada en cada anclaje, por lo cual se tendrían 10mm más de diámetro de la



cadena que se requiere, no existiendo problema alguno, estos 10 mm representarían el mínimo desgaste permitido por los eslabones.

Figura 11. Características de un eslabón normal de cadena de anclaje con concreto grado U-3.



6.- ESLABON NORMAL

DIMENSIONES:

DIAMETRO Ø	LARGO EXTERIOR	ANCHO EXTERIOR
73 MM 2 7/8"	438 MM 17 3/16"	263 MM 10 3/8"

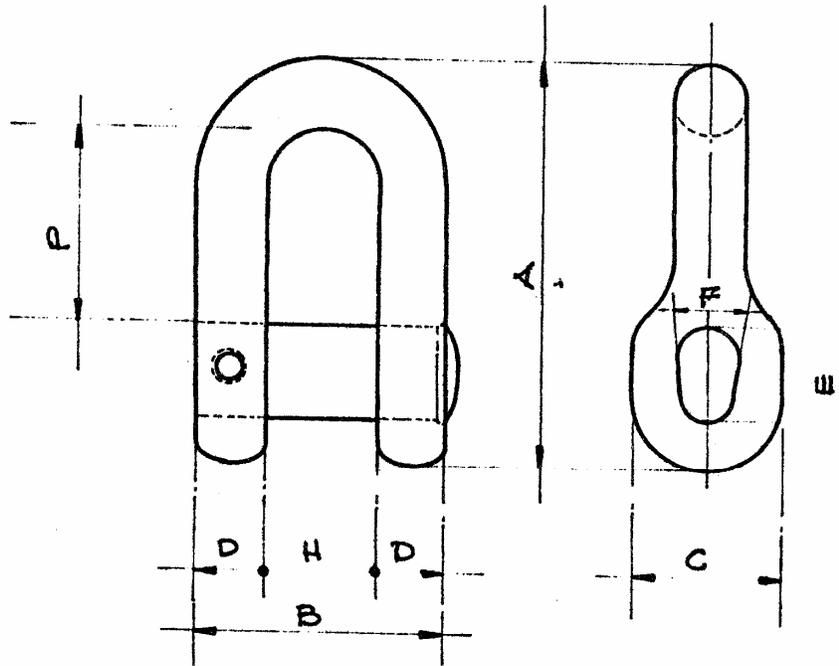
TODAS LAS DIMENSIONES EN MM Y PULGS.

7.6 GRILLETE TIPO D.

Es un elemento de unión entre los eslabones finales y el cáncamo de la barra de esfuerzos del boyarín en un extremo y el ancla en el otro extremo, la ventaja es que cuenta con un perno móvil que va roscado al cuerpo del grillete y que permite la interconexión y manejo entre estos componentes de manera muy práctica, para poder realizar si es necesario los trabajos en forma submarina.



Figura 12. Esquema y características de un grillete tipo D.



2.- GRILLETE TIPO "D"

- A = 8.2 d
- B = 5.0 d
- C = 3.0 d
- D = 1.4 d
- E = 1.9 d
- F = 1.3 d
- H = 2.2 d
- P = 4.0 d

DIAMETRO DE CADENA d		DIMENSIONES		
PULG	MM	A (MM)	B (MM)	D (MM)
3"	76	623	380	106.5

PESO = 159,00 KGS.

7.7 Ancla tipo Danfor.

Es el elemento de fijación al lecho marino, en base a los resultados de la memoria se recomienda el uso de una modelo "OFFDRILL II", tipo DANFOR de la marca "VICINAY", el fabricante especifica un poder de agarre al lecho marino de 20:1, es decir, soporta una fuerza de 20 veces su peso en condiciones optimas.

Por lo tanto si:

Se requiere que el ancla soporte 105.27 Ton que es la fuerza máxima sobre cada amarra en las condiciones más desfavorables generadas por el buque tendremos:

Si tomamos 8 veces su peso lo cual representa el 40% tendremos:



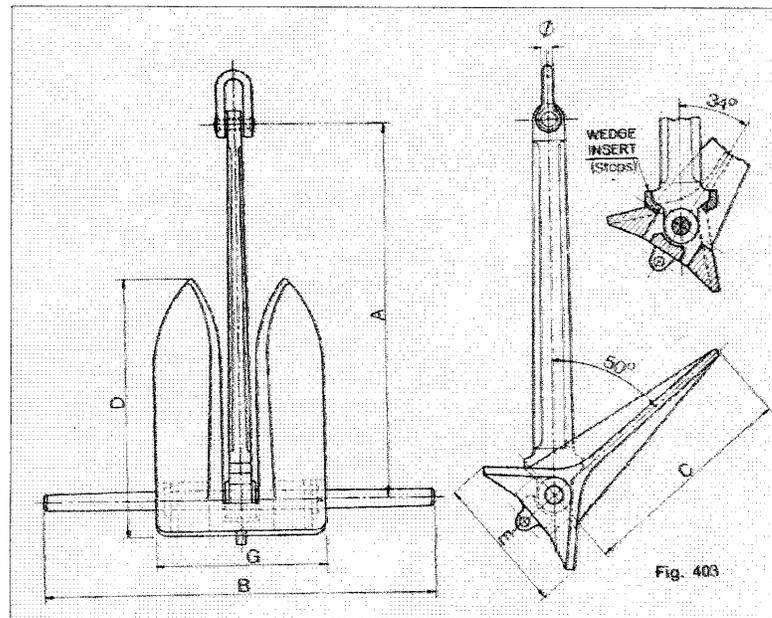
$\frac{105.27\text{Ton}}{8} = 13.16\text{Ton}$ En base a esto deberá contar el sistema con ancla de 33,000 Lbs = 15,000 kg = 15 Ton de peso que tiene un poder de agarre de:

- 428,000 Lbs = 194,545kg = 194.5 Ton en arena.
- 358,000 Lbs = 162,727 kg = 162.7 Ton en limo.

Capacidad de agarre del ancla = 162.7 Ton > 105.27 Ton fuerza máxima sobre la amarra.

Tendremos un 32.10% de margen de seguridad

Figura 13. Esquema y características de un ancla tipo Danfor



1.- ANCLA

ANCLA		DIMENSIONES													
		A		B		C		D		E		G		Ø GRILLETE	
LBS	KGS	PULG	MM	PULG	MM	PULG	MM	PULG	MM	PULG	MM	PULG	MM	PULG	MM
3000	15000	192 7/8"	4900	212 3/16"	5390	116 1/2"	2955	138 3/8"	3515	62 3/8"	1585	81 1/2"	2070	5 1/2"	140

HOLDING POWER $a = 0^\circ$

EN FONDO DE ARENA = 428,000 LBS.

EN FONDO DE LODO O FANGO = 358,000 LBS

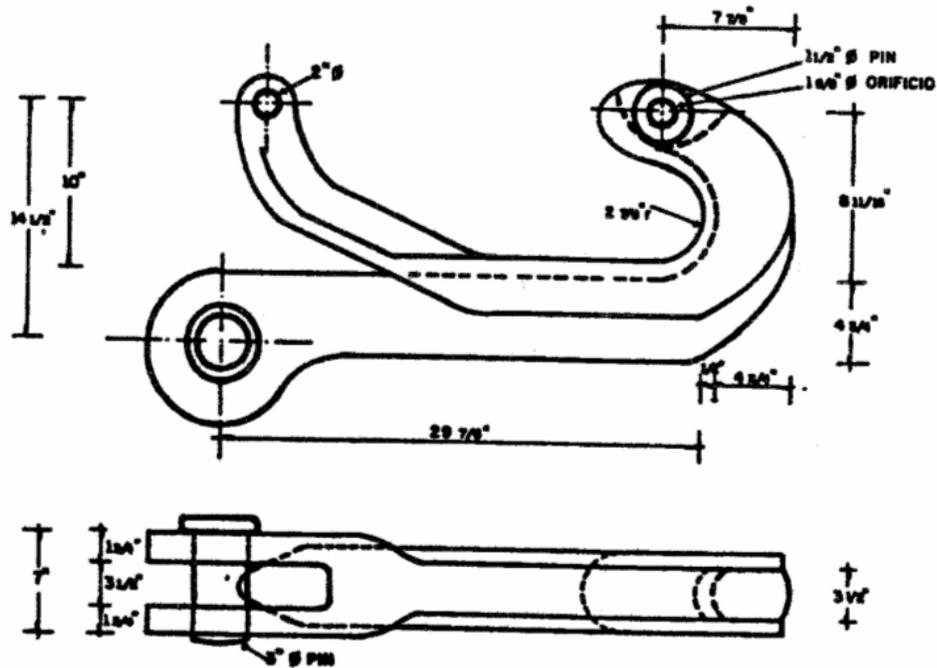
7.8 GANCHO DE LARGADO RAPIDO TIPO MARINO Ó (TIPO PELICANO).



Es el elemento de fijación entre el boyarín y el cabo de amarre del buque, se instala con un perno de unión con el concamo superior de la barra de esfuerzos del boyarín, en la plataforma de operación del mismo.

Resistencia carga gancho de amarre = Cargas probadas de 300,000 Lbs = 136.20 Ton. > 105.27 Ton. Carga máxima sobre cada amarra.

Figura 14. Características de un gancho de largado rápido tipo marino.



Nota: Para los sistemas de unión deberán instalarse elementos tales que los componentes estén integrados por pernos de 2 3/8" de diámetro = 60 mm, con la finalidad de obtener los mismos factores de resistencia a la ruptura = 263.18 Ton y carga de prueba = 197.9 Ton.

7.9 SISTEMA GENERAL DE AMARRE Y ANCLAJE DEL BOYARÍN.

Análisis de parámetros sistema de anclaje de boyarines de amarre

Datos y parámetros a calcular:

Boyarín No.1

Localización: Longitud N = 117°,05',44"

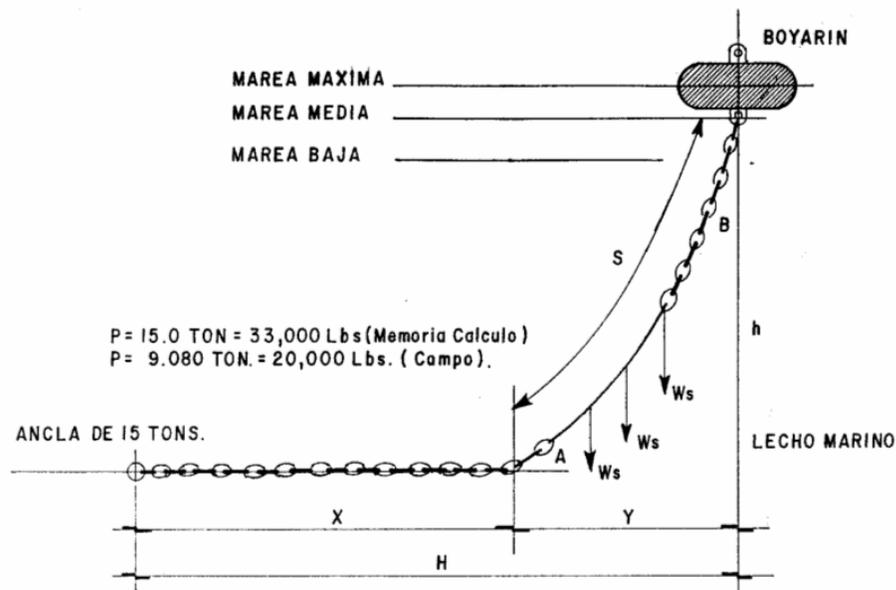
Latitud W = 32°,22',3.5"



- L = Longitud Total de la Cadena hasta el Ancla = $110m$
- H = Cadena Asentada en el Lecho Marino mas Factor de Movilidad del Boyarín
- X = Longitud de la Cadena Asentada en Lecho Marino
- Y = Factor de Movilidad del Boyarín = $9.15m$
- S = Longitud de la Catenaria
- P = Peso del Ancla = $33,000Ton$
- W_s = Peso de la Cadena que Conformar la Catenaria
- V = Volumen del Boyarín
- h = Profundidad (altura) nivel de Máxima Marea en Área de Boyarín = $15.85m$
- Ángulo α = Ángulo de la Catenaria en Lecho Marino
- Ángulo β = Ángulo de la Catenaria parte Inferior del Boyarín

Figura 15. Sistema general de amarre y anclaje del boyarín.
ESQUEMA BOYARIN No. 1

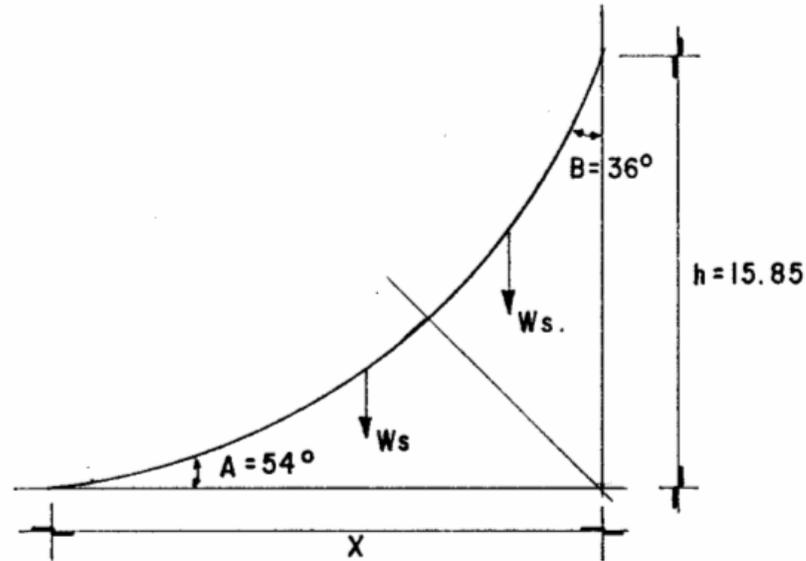
LOCALIZACION: Longitud $N= 117^{\circ} 05' 44''$
Latitud $W= 32^{\circ} 22' 03.5''$





Cálculo del ángulo de la catenaria parte inferior del boyarín:

Figura 16. Esquema trigonométrico para cálculo ángulo de la catenaria



Por trigonometría tenemos que:

$$\text{Tang}\beta = \frac{Y}{h} = \frac{9.15m}{15.85m} = 0.7275 \text{ Entonces } \beta = \text{Ang tan } 0.7275 = 30^\circ$$

Cálculo del ángulo de elevación de la catenaria del lecho marino:

Por geometría tenemos que:

$$\text{Ang}\alpha + \text{Ang}\beta + 90^\circ = 180^\circ, \text{ despejando el áng.}\alpha \text{ tenemos:}$$

$$\text{Ang}\alpha = 180^\circ - 90^\circ - \text{Ang}\beta, \text{ sustituyendo el valor del áng.}\beta$$

$$\text{Ang}\alpha = 180^\circ - 90^\circ - 30^\circ$$

$$\text{Ang}\alpha = 180^\circ - 120^\circ$$

$$\text{Ang}\alpha = 180^\circ - 60^\circ$$

Cálculo de la longitud de la secante de la catenaria entre los extremos fijos de la cadena:

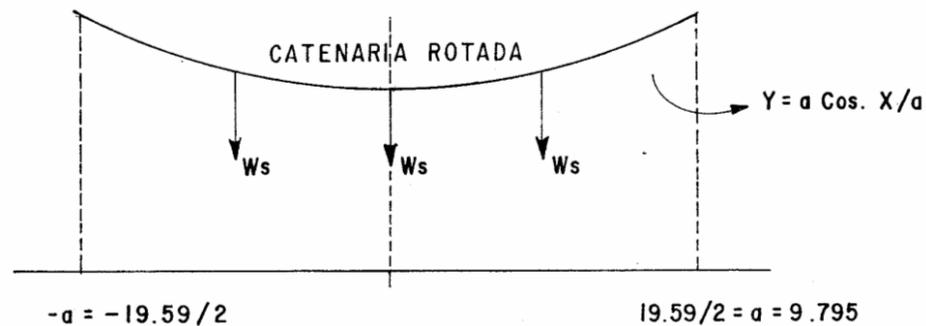
$$\text{Sen}\alpha = \frac{h}{S_{\text{SecanteCatenaria}}} \text{ Despejando el valor de } S_{\text{SecanteCatenaria}} \text{ tenemos:}$$

$$S_{\text{SecanteCatenaria}} = \frac{h}{\text{Sen}\alpha} = \frac{15.85m}{\text{Sen}60^\circ} = \frac{15.85m}{.866} = 18.32m$$

Cálculo de la longitud de la catenaria de la cadena:



Figura 17. Esquema de la catenaria rotada.



Donde:

$$Y = a \text{Cosh } x/a \quad \text{Ecuación de la Catenaria}$$

Tenemos que:

$$Y = a \text{Cosh } \frac{x}{a} \quad \text{Ecuación de la catenaria}$$

Entonces la longitud de la catenaria estará dada por:

$$\begin{aligned} S &= \int_{-a}^a \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \int_{-a}^a \sqrt{1 + \text{Senhip}^2 \frac{x}{a}} dx = \int_{-a}^a \sqrt{\text{Coship}^2 \frac{x}{a}} dx = 2 \int_{-a}^a \text{Coship} \frac{x}{a} dx \\ &= 2a \int_{-a}^a \text{Coship} \left(\frac{x}{a}\right) \left(\frac{1}{a}\right) dx = 2a \text{Senhip} \frac{x}{a} = 2a \text{Senhip} 1 = 2a(1.1752011194) \\ &= 2.35a = 2.35(9.16m) = 21.53m \end{aligned}$$

Cálculo del peso de la cadena que conforma la catenaria:

Sin la cadena es de 2 3/4" de diámetro = 70 mm tenemos que:

Peso de la cadena = 2,910 kg por grillete (1 grillete = 27.5 m)

$$\text{Entonces } W = \frac{2,910kg}{27.5m} = 105.82kg / m$$

Si S = 21.53 m entonces:

$$W_s = (21.53m)(105.82kg / m) = 2,278.31kg \quad \text{Peso de la cadena que conforma la catenaria.}$$

CAPÍTULO VIII. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA BOYA DE AMARRE.

8.1 CÁLCULO DEL PESO DE LA PLACA DE TENSION.

Tomaremos como base la carga de ruptura de la cadena de 2 3/4" de diámetro grado U-3, que es 2581.8 Kn ó sea 263.18 Ton =263,180 kg, entonces tendremos:



$$A = \frac{P}{ft} = \frac{263,180kg}{1,138.5kg/cm^2} = 231.16cm^2$$

$$ft = 0.45 f_y = (0.45)(2.530kg/cm^2) = 1138.5kg/cm^2$$

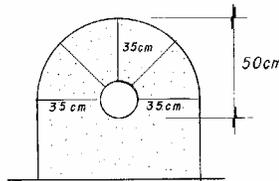
$$\frac{231.16cm^2}{5.08cm} = 45.5cm \text{ De ancho para placa de 2" de espesor}$$

Si tomamos dos placas juntas tendremos:

$$\frac{231.16cm^2}{10.15cm} = 22.78cm \approx 24cm \text{ (Ancho para cada placa)}$$

Pero hay que considerar la disminución por el orificio para agarre del perno del grillete.

Figura 18. Cancamo de sujeción de la placa de refuerzo.



$$24cm + \text{Diámetro del Orificio} = 24cm + 10cm = 34cm$$

Peso de la doble placa de 2" x 34cm de ancho x 3.0m de largo

$$(398.4kg/m^2)(0.34m)(3.0m) = 406.37kg = \mathbf{407kg}$$

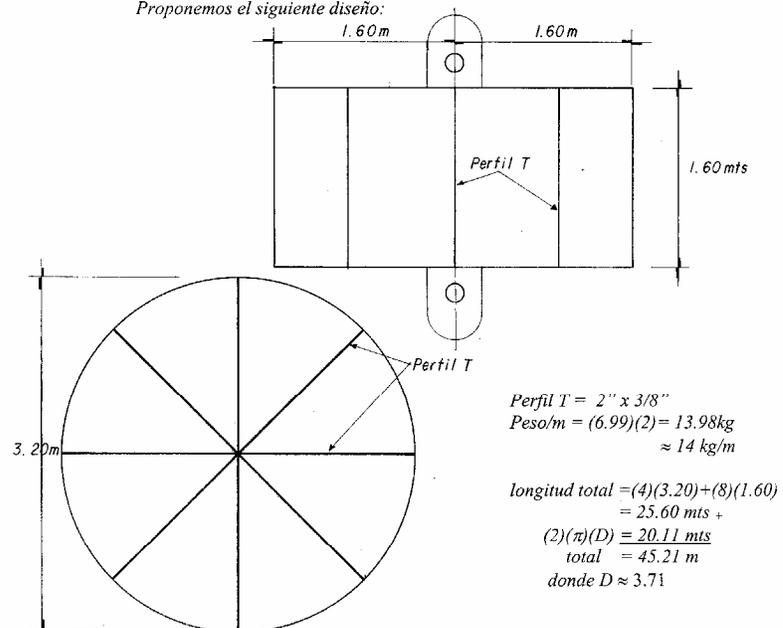
8.2 DISEÑO DE LA BOYA DE AMARRE.

Proponemos el siguiente diseño para la boya de amarre:

Figura 19. Boya de amarre.

BOYA DE AMARRE (ALTERNATIVA II).

Proponemos el siguiente diseño:



$$\begin{aligned} \text{Perfil T} &= 2'' \times 3/8'' \\ \text{Peso/m} &= (6.99)(2) = 13.98kg \\ &\approx 14 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{longitud total} &= (4)(3.20) + (8)(1.60) \\ &= 25.60 \text{ mts} + \\ (2)(\pi)(D) &= 20.11 \text{ mts} \\ \text{total} &= 45.71 \text{ m} \\ \text{donde } D &\approx 3.71 \end{aligned}$$

El material a utilizar será a base de acero estructural ASTM-A-26 con placa de 13mm de espesor (1/2"), que tiene un peso de 99.6 kg/m².



En base al esquema tenemos que:

Perfil L = 2"x2"x3/8

Peso/m = (6.99kg) (2) = 13.98 Kg/m = 14 kg/m

Longitud total = (4)(3.20m)+(8)(1.90m)+2πD = 12.8m+15.2m +20.11= 32.91m

Peso de la estructura = (33m)(14kg/m) = **462kg**

$$\begin{aligned} \text{Placa envolvente} &= \frac{2\pi D^2}{4} + \pi Dh = \frac{2(3.1416)(3.20m)^2}{4} + (3.1416)(3.20m)(1.90m) \\ &= 16.08m^2 + 19.10m^2 = 35.18m^2 \end{aligned}$$

El material a utilizar será a base de acero estructural ASTM-A-26 con placa de 13 mm de espesor = 1/2" que tiene un peso de 99.6kg / m²

Peso placa de 1/2"/m = 99.6kg / m²

Peso de la envolvente = (99.6kg / m²)(35.18m²) = 3,503.92kg = **3504 kg**

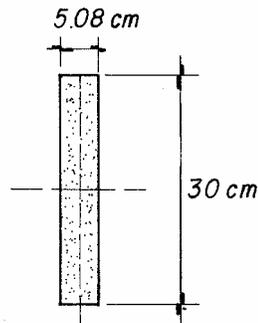
Peso de la boya = **3966 kg**

8.3 BARRA DE ESFUERZOS.

Perfil estructural para resistir 110 Toneladas.

Para este perfil estructural tenemos que:

Figura 20. Perfil estructural para barra de esfuerzos.



Longitud = 3m

$$V_x = \frac{d}{\sqrt{12}} = \frac{30}{\sqrt{12}} = \frac{30}{3.47} = 8.66$$

$$V_y = \frac{d}{\sqrt{12}} = \frac{5.08}{\sqrt{12}} = \frac{5.08}{3.47} = 1.4660 = 1.47$$

$$\frac{L}{T} = \frac{170}{1.47} = 115.65 = 116 < 250 \text{ para Miembros Principales}$$

$$f_v = 0.6, \text{ entonces } f_y = (0.6)(2,530) = 1518kg / cm^2$$

$$A = \frac{P}{f_y} = \frac{110Ton}{1,518kg / cm^2} = \frac{110,000kg}{1,518kg / cm^2} = 72.46cm^2$$

Usando placa de 50.8mm = 2" de espesor, necesitamos:

$$\frac{72.46cm^2}{5.08cm} = 14.26cm, \text{ de ancho.}$$



Pero si esta se conecta con pasador, se deberá usar con:

$$0.45 f_y = (0.45)(2,530) = 1,138.5 \text{ kg} / \text{cm}^2, \text{ entonces:}$$

$$A = \frac{P}{f_y} = \frac{110 \text{ Ton}}{1,138.5 \text{ kg} / \text{cm}^2} = \frac{110,000 \text{ kg}}{1,138.5 \text{ kg} / \text{cm}^2} = 96.62 \text{ cm}^2$$

Es decir se necesitan:

$$\frac{96.62 \text{ cm}^2}{5.08 \text{ cm}} = 19.02 \text{ cm}, \text{ de ancho}$$

Agregando el diámetro del pasador $3 \frac{1}{8}'' = 7.54 \text{ cm}$ tenemos:

$$(19.02 \text{ cm}) + (7.94 \text{ cm}) = 26.96 \text{ cm}, \text{ dejaríamos } 30 \text{ cm}$$

Entonces soportarían:

$$P = (1,518 \text{ kg} / \text{cm}^2)(5.08 \text{ cm})(20 \text{ cm}) = 154,228.8 \text{ kg} = 154.23 \text{ Ton}$$

$$P = (1,138.5 \text{ kg} / \text{cm}^2)(5.08 \text{ cm})(30 \text{ cm}) = 173,507.4 \text{ kg} = 173.51 \text{ Ton}$$

Mas que suficiente para las cargas que se calcularon.

8.4 RESUME DE PESOS SOBRE LA BOYA.

Cadena de $2 \frac{3}{4}''$ de diámetro (21.53 m) = 2.279 kg

Un grillete tipo D = 150 kg

Un destorcedor = 180 kg

Barra de tensión = 407 kg

Gancho de soltado rápido = 170 kg

Peso lamina de la boya (envolvente) = 3,504 kg

Peso de angulares (estructura) = 462 kg

$$\sum T = \text{sumatotal} = 7,152 \text{ kg} = 7.15 \text{ Ton}$$

La boya deberá flotar soportando esta carga, si proponemos un factor de flotación de +1.8 necesitamos el siguiente volumen de boya:

$$(7,152 \text{ kg})(1.8) = 12,873.6 \text{ kg} \text{ De agua desplazada}$$

Se necesitaran 12.87 m^3 de volumen de boya:

Tomando un diámetro de 3.20m tendremos:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3.1416)(3.20 \text{ m})^2}{4} = 8.04 \text{ m}^2$$

$$h = \frac{12.87 \text{ m}^3}{8.04 \text{ m}^2} = 1.60 \text{ m}$$

O sea que con una boya de 3.20 m de diámetro por 1.60 m de altura desplazara un volumen de agua igual a:

$$V_{\text{AguaDesplazada}} = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{(3.1416)(3.20 \text{ m})^2}{4} (1.60 \text{ m}) = (8.04 \text{ m}^2)(1.60 \text{ m}) = 12.87 \text{ m}^3$$

La relación de flotación será:

$$\text{Relación de Flotación} = \frac{\text{Densidad Agua de Mar}}{\text{Densidad del Conjunto}} = \frac{1.026 \text{ kg} / \text{m}^3}{0.56} = 1.83$$

$$V_T = \frac{\pi D^2}{4} h = \frac{(3.1416)(3.20 \text{ m})^2}{4} (1.60 \text{ m}) = 12.87 \text{ m}^3$$



Peso del Volumen Desalojado = $(12.87m^3)(1026kg / m^3) = 13,204.62kg = 13.21Ton$

Densidad del Conjunto = $\frac{7,152kg}{12.87m^3} = 555.71kg / m^3 = 0.56Ton / m^3$

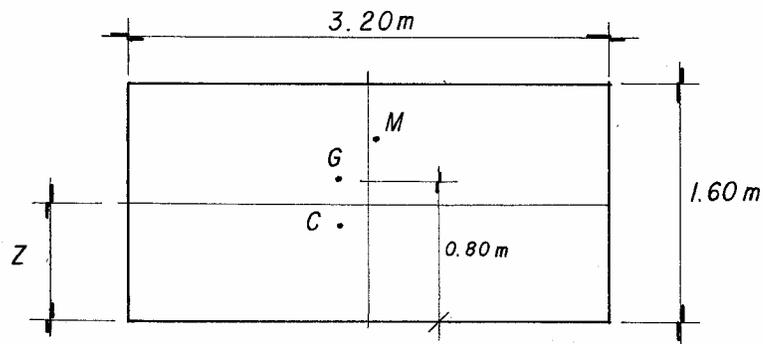
Densidad del agua de mar = $1.026Ton / m^3 \gg 0.56Ton / m^3$ = densidad del conjunto.

Como la densidad del líquido desalojado (en que se encuentra sumergida la boya) es mayor que la densidad del conjunto que integra la boya y sus accesorios, por lo tanto la boya flotara.

8.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.

Figura 21. Esquema de estabilidad de la boya.

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD.



Tenemos que

$$V_x = \text{Volumen de Cadena} = \frac{\pi(3.20m)^2}{4}(z) = 8.04m^2 z$$

Donde z es el nivel de flotación de la boya

$$\text{Peso de la Boya} = P = 3,966kg$$

$$P = V_x \text{ Densidad Agua de Mar} = V_x (1026kg / m^3) = (8.04m^2 z)(1026kg / m^3) = 3,966kg$$

Despejando a z tenemos:

$$z = \frac{3,966kg}{8.04m^2(1026kg / m^3)} = \frac{3,966kg}{8,249kg / m} = 0.48m$$

$$\text{Centro de Gravedad} = C - G = \frac{1.6m}{2} - \frac{0.48m}{2} = 0.8m - 0.24m = 0.56m$$

$$I_{\text{Circuncenteo}} = \frac{\pi(D)^4}{64} = \frac{(3.1416)(3.20m)^4}{64} = \frac{329.4m^4}{64} = 5.15m^4$$

$$\text{Metacentro} = MC = \frac{I}{V} = \frac{5.15m^4}{\frac{\pi(3.20m)^2}{4}(0.48m)} = \frac{5.15m^4}{3.86m^3} = 1.33m$$

El $MC = 1.33m > C-G = 0.56m$



El metacentro (**MC**) está por arriba del centro de gravedad (**G**).
 Por lo tanto la boya es estable, ya que cualquier oscilación provocada por fuerzas externas, establece el par de fuerzas peso-empuje, que actuará en el sentido tal que hacen volver al cuerpo flotante a su posición inicial.

8.6 FLOTACIÓN DE LA BOYA DE AMARRE.

Para calcular la flotación de la boya tenemos que:

$$\text{Volumen de la Boya} = (Dens_{H_2O})(A)(z) = (Dens_{Boya})(\text{Agua Desplazada})$$

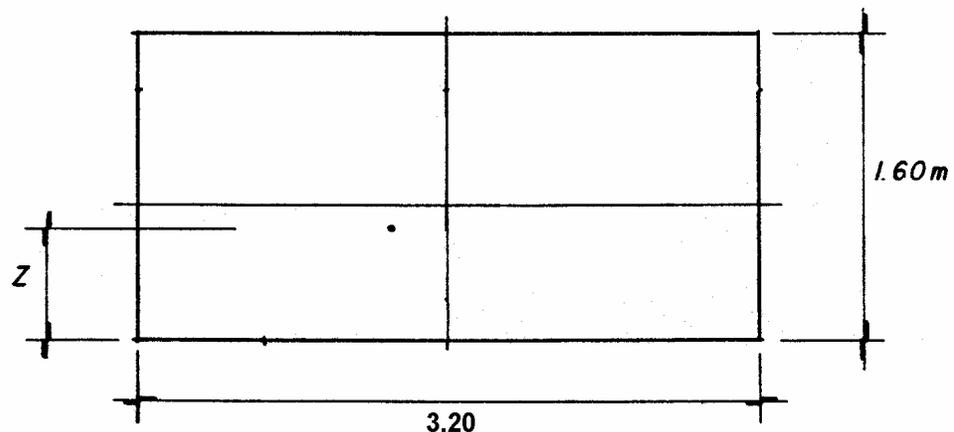
$$\text{Volumen de la Boya} = (1.026\text{Ton}/m^3) \left(\frac{\pi(3.20m)^2}{4} \right) (z) = (0.56)(13.21\text{Ton})$$

Despejando a z tenemos que

$$z = \frac{(0.56)(13.21\text{Ton})}{(1.026\text{Ton}/m^3) \left(\frac{3.1416}{4} \right) (10.24m^2)} = \frac{7.3976}{8.2516} m = 0.896m = 0.90m$$

Figura 22. Esquema de flotación de la boya.

FLOTACIÓN DE LA BOYA DE AMARRE.



8.7 ESFUERZOS SOBRE LA BOYA DE AMARRE (SIN BUQUE ATRACADO).

Tenemos que:

$$\text{Área expuesta al viento} = (1.60m)(3.20m) = 5.12m^2$$

$$\text{Circunferencia acostada} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{(3.1416)(3.20m)^2}{4} = 8.04m^2$$

$$\text{Fuerza del Viento} = F_v = CV^2 A = (0.00363)(120km/h)(8.08m^2) = 422.36kg$$

$$\text{Presión de la Corriente} = P_c = KV^2 Sen^2 \delta = (70)(3,09km/h)^2 (Sen90^\circ) = 668.37Kg/m^2$$

$$\text{Fuerza del Viento} = F_v = CV^2 A = (0.00363)(120km/h)(8.08m^2) = 422.36kg$$

$$\text{Fuerza de la Corriente} = F_c = P_c A = (668.37kg/m^2)(8.04m^2) = 5,373.7kg$$



La fuerza del oleaje, para el caso de la boya es más crítica, pero ya que la boya flotará al paso de la ola, dicho esfuerzo se convertirá en un empuje proporcional al volumen del agua desalojada por la boya, es decir 13.204.62kg (ya calculado)

Entonces tenemos que:

Peso de la boya con accesorios = 4,873 kg

Peso de la cadena 2 3/4" (21.53m) = 2,279 kg

Por lo tanto:

$$F_{Total} = F_v + F_c + P_B + P_c = 422.36kg + 5,573.7kg + 4,873kg + 2,279kg = 13.148.06kg$$

$$F_T = 13.15Ton$$

Con la cadena de 2 3/4" de diámetro calculada para soportar las fuerzas producidas por el buque es mas que suficiente par soportar a si misma con todo y boya de amarre.

CAPÍTULO IX. CÁLCULO DE LA TUBERÍA SUBMARINA PARA LA CONDUCCIÓN DE PRODUCTO.

9.1 PARÁMETROS FUNDAMENTALES PARA ÉL CÁLCULO.

$$Gasto = 500Ton / hr = 400m^3 / hr$$

Tiempo de carga:

Normal = 36 hr

Máxima = 48 hr

Temperatura de operación = -42°C a presión 0

Temperatura de llegada a línea de tubería = -37°C

Presión de llegada a línea de tubería = 3 kg/cm²

Diferencias máximas permitidas:

$$\Delta T = 6^{\circ}C$$

$$\Delta P = 4kg / cm^2$$

Temperatura ambiente = 16°C

Media anual = 20.4°C

Mínima = 12°C

Formula para conversión de temperaturas de °C a °F:

$$T_{\circ F} = 1.8^{\circ}C + 32$$

$$T_{\circ F} = 1.8^{\circ}C + 32 = 1.8(-42.2) + 32 = -75.96 + 32 = -43.96^{\circ}F = -44^{\circ}F$$

Punto de ebullición del gas propano LP = -44.2 °F= 42.333°C

La viscosidad del gas propano LP (C₃H₈) a -44°F es aproximadamente:

$$Viscosidad = \mu = 0.2Centipoise = 0.002poises$$

$$Gravedad Específica = s = 0.585gr / cm^3$$

Entonces tenemos que la viscosidad cinemática será:

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad Cinemática} = \nu &= \frac{\mu}{s} = \frac{0.02Centipoises}{0.585gr / cm^3} = 0.34188Centistoken \\ &= 3.4188 \times 10^{-3} cm^2 / seg = 3.4188 \times 10^{-7} m^2 / seg \end{aligned}$$



Ahora el mismo gas liquido a temperatura de llegada a línea de tubería = -37°C

$$T_{\circ F} = 1.8^{\circ}C + 32 = 1.8(-37) + 32 = -66.6 + 32 = -34.6^{\circ}F$$

Tenemos que:

$$\text{Viscosidad} = \mu = 0.195 \text{Centipoise}$$

$$\text{Gravedad Específica} = s = 0.580 \text{gr} / \text{cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad Cinemática} = \nu &= \frac{\mu}{s} = \frac{0.195 \text{Centipoises}}{0.580 \text{gr} / \text{cm}^3} = 0.336 \text{Centistoken} \\ &= 3.36 \times 10^{-3} \text{cm}^2 / \text{seg} = 3.36 \times 10^{-7} \text{m}^2 / \text{seg} \end{aligned}$$

Ahora el mismo liquido a la temperatura ambiente = 16°C

$$T_{\circ F} = 1.8^{\circ}C + 32 = 1.8(16) + 32 = 28.8 + 32 = 60.8^{\circ}F$$

Tenemos que:

$$\text{Viscosidad} = \mu = 0.105 \text{Centipoise}$$

$$\text{Gravedad Específica} = s = 0.510 \text{gr} / \text{cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad Cinemática} = \nu &= \frac{\mu}{s} = \frac{0.105 \text{Centipoises}}{0.510 \text{gr} / \text{cm}^3} = 0.20588 \text{Centistoken} \\ &= 2.0588 \times 10^{-3} \text{cm}^2 / \text{seg} = 2.06 \times 10^{-7} \text{m}^2 / \text{seg} \end{aligned}$$

Ahora el mismo liquido a la temperatura media anual = 20.4°C:

$$T_{\circ F} = 1.8^{\circ}C + 32 = 1.8(20.4) + 32 = 36.72 + 32 = 68.72^{\circ}F$$

Tenemos que:

$$\text{Viscosidad} = \mu = 0.11 \text{Centipoise}$$

$$\text{Gravedad Específica} = s = 0.505 \text{gr} / \text{cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad Cinemática} = \nu &= \frac{\mu}{s} = \frac{0.11 \text{Centipoises}}{0.505 \text{gr} / \text{cm}^3} = 0.217821 \text{Centistoken} \\ &= 2.1782 \times 10^{-3} \text{cm}^2 / \text{seg} = 2.1782 \times 10^{-7} \text{m}^2 / \text{seg} \end{aligned}$$

Elemento de conversión:

$$\begin{aligned} 1 \text{gr} / \text{cm}^2 &= 1 \text{gr} / \text{cm}^2 \frac{1 \text{kg}}{1000 \text{gr}} = 0.001 \text{kg} / \text{cm}^3 \frac{1 \text{m}^3}{10^{-6} \text{cm}^3} = \frac{10^{-3}}{10^{-6}} \text{kg} / \text{m}^3 = 10^3 \text{kg} / \text{m}^3 \\ &= 1000 \text{kg} / \text{m}^3 = 1000 \text{kg} / \text{m}^3 \frac{1 \text{Ton}}{1000 \text{kg}} = 1 \text{Ton} / \text{m}^3 \end{aligned}$$

9.2 PESO ESPECIFICO DEL PRODUCTO GAS PROPANO LP.

Por lo tanto el peso especifico del gas propano LP a diferentes temperaturas será:

Tenemos que a -42.2°C = 44°F, 500 toneladas de gas propano son:

$$0.585 \Rightarrow 1$$

$$500 \Rightarrow x$$

$$x = 855 \text{m}^3 = 855 \text{m}^3 / \text{hr}$$

Y también 400 m³/hr de gas propano serán:



$$0.585 \Rightarrow 1$$

$$x \Rightarrow 400$$

$$x = 234 \text{Ton} / \text{hr}$$

Entonces tenemos que para todo el esquema de temperaturas básicas:

Tabla 6. Peso específico para el esquema de temperaturas

°C	°F	s (gr./cm ³)	s (Ton/m ³)	En base a 500 Ton/hr (m ³ /hr)	En base a 400 (m ³ /hr) Ton/hr
-42.2	-44	0.585	0.585	855	234
-37	-34.6	0.580	0.580	862	232
16	60.8	0.510	0.510	980	255
20.4	68.72	0.505	0.505	990	253

9.3 ANÁLISIS DEL GASTO.

Tenemos que:

$$\text{Desplazamiento del buque a plena carga} = 45,000 \text{ T m}$$

$$\text{Desplazamiento en rosca} = 11,272 \text{ T m}$$

$$\text{Diferencia} = 33,728 \text{ T m}$$

Entonces teóricamente el buque tendría:

$$33728 \text{Tm} / 0.585 = 57,654 \text{m}^3 \text{ a } -42.2^\circ \text{C}$$

$$33728 \text{Tm} / 0.580 = 58,151 \text{m}^3 \text{ a } -37^\circ \text{C}$$

$$33728 \text{Tm} / 0.510 = 66,133 \text{m}^3 \text{ a } 16^\circ \text{C}$$

$$33728 \text{Tm} / 0.505 = 66,788 \text{m}^3 \text{ a } 20.4^\circ \text{C}$$

Si se consideran 36 horas de descarga, los gastos serian para un propuesto de **400 m³/hr**:

$$\frac{57,654 \text{m}^3}{36 \text{hrs}} = 1,601.5 \text{m}^3 / \text{hr}$$

$$\frac{58,151 \text{m}^3}{36 \text{hrs}} = 1,615.3 \text{m}^3 / \text{hr}$$

$$\frac{66,133 \text{m}^3}{36 \text{hrs}} = 1,837.02 \text{m}^3 / \text{hr}$$

$$\frac{66,788 \text{m}^3}{36 \text{hrs}} = 1,855.2 \text{m}^3 / \text{hr}$$

Si se consideran 48 horas de descarga, los gastos serian para un propuesto de **400 m³/hr**:



$$\frac{57,654m^3}{48hrs} = 1,201m^3 / hr$$

$$\frac{58,151m^3}{48hrs} = 1,211.4m^3 / hr$$

$$\frac{66,133m^3}{48hrs} = 1,377m^3 / hr$$

$$\frac{66,788m^3}{48hrs} = 1,391.4m^3 / hr$$

Vemos que estos gastos son sumamente mayores al propuesto de 400 m³/hr (real de operación)

Esto se explica, cómo es que el buque no descarga la totalidad del gas propano

Entonces tenemos que lo que realmente descarga es:

Tabla 7. Descarga real del buque.

	En 36 horas	En 48 horas
855	30,780 m ³	41,040 m ³
862	31,032 m ³	41,376 m ³
980	35.280 m ³	47,040 m ³
990	35,640 m ³	47,520 m ³

Tabla 8. Descarga real del buque.

	En 36 horas	En 48 horas
855	18,006 Ton	24,008 Ton
862	17,998 Ton	23,998 Ton
980	17,993 Ton	23,990 Ton
990	17,998 Ton	23,997 Ton
Promedio	18,000 Ton	24,000 Ton

$$855 \times 36hrs = 30780 \times 0.585 = 18,006Ton / hr$$

$$855 \times 48hrs = 30780 \times 0.585 = 24,008Ton / hr$$

Lo cual representa un:

$$33,728Tm \Rightarrow 100\%$$

$$18,000Tm \Rightarrow x$$

$$x = 53.36\%$$

$$33,728Tm \Rightarrow 100\%$$

$$24,000Tm \Rightarrow x$$

$$x = 71.15\%$$

Respectivamente de descarga con respecto a la capacidad total

9.4 DISEÑO HIDRÁULICO.

Trabajaremos con la temperatura de operación crítica de -37°C, que nos da un gasto de 1615.3 m³/hr a 36 horas de carga ó descarga (críticos):

Proponemos tubería de acero al carbón API-5L-52X de 12" de diámetro cédula 40.



Entonces tenemos que:

$$\Phi_{Exterior} = 32.4cm = 0.324m$$

$$\Phi_{Interior} = 30.7cm = 0.307m$$

$$r = 0.1535m$$

$$\text{Viscosidad Cinemática} = \nu = 3.36 \times 10^{-7} m^2 / seg$$

$$A = \pi r^2 = (3.1416)(0.1535m)^2 = 0.0740m^2$$

Ahora tenemos que:

$$Q = vA \Rightarrow v = \frac{Q}{A} \text{ Entonces}$$

$$v = \frac{1615.3m^3 / hr}{0.0740m^2} = 21,828.378m / hr \times \frac{1hr}{3600seg} = 6.06m / seg$$

Vemos que la velocidad es adecuada, ya que la máxima que marca la norma para este tipo de tuberías es de 7.62m/seg. ó sea 25 pies/seg.

Analizando mediante otro procedimiento tenemos:

Proponemos nuevamente tubería de acero al carbón API-5L-52X de 12" de diámetro cedula 40.

Entonces tenemos que:

$$\Phi_{Exterior} = 32.4cm = 0.324m$$

$$\Phi_{Interior} = 30.7cm = 0.307m$$

$$r = 0.1535m$$

$$A = \pi r^2 = (3.1416)(0.1535m)^2 = 0.0740m^2$$

Ahora gas líquido a temperatura de llegada a línea de tubería = -37°C

$$T_{\circ F} = 1.8^{\circ}C + 32 = 1.8(-37) + 32 = -66.6 + 32 = -34.6^{\circ}F$$

Tenemos que:

$$\text{Viscosidad} = \mu = 0.195 \text{ Centipoise}$$

$$\text{Gravedad Específica} = s = 0.580 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad Cinemática} = \nu &= \frac{\mu}{s} = \frac{0.195 \text{ Centipoises}}{0.580 \text{ gr} / \text{cm}^3} = 0.336 \text{ Centistoken} \\ &= 3.36 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 / \text{seg} = 3.36 \times 10^{-7} m^2 / \text{seg} \end{aligned}$$

Tabla 9. Gas propano a -37°C

°C	°F	s(gr./cm³)	s (Ton/m³)	En base a 500 Ton/hr	En base a 400 m³/hr
-37	-34.6	0.580	0.580	862	232

$$Q = 500 \text{ Ton} / \text{hr} = 862m^3 / \text{hr}$$

Tenemos que:

$$Q = vA \Rightarrow v = \frac{Q}{A} \text{ Entonces}$$

$$v = \frac{862m^3 / hr}{0.0740m^2} = 11,645.5m / hr \times \frac{1hr}{3600seg} = 3.2348m / seg \cong 3.24m / seg$$



En base a la norma para esta tubería, la velocidad es adecuada, ya que para tubería de succión ó descarga en este diámetro marca una velocidad máxima en bombeo de 4.572 m/seg.

Ahora utilizamos el diagrama de Mooby

Lo anterior para calcular las pérdidas por el efecto de la fricción en función de la longitud de la tubería:

Tenemos que:

$$hf = \frac{fLv^2}{D2g}$$

$f = 0.013$ para acero comercial.

Entonces:

$$hf = \frac{fLv^2}{D2g} = \frac{(0.013)(100m)(3.24m/seg)^2}{(0.307m)^2(9.81m/seg^2)} = \frac{13.688}{6.02334} = 2.2656\% \cong 2.27\%$$

Las perdidas serian 2.27% por cada 100m de tubería de acero al carbón de 12" de diámetro

Pero en base a la normatividad para tuberías de succión y descarga impulsadas por bombas de este diámetro tenemos que:

Perdidas por fricción máximos = de 1 a 4%

Velocidad máxima = de 5 a 15 m/seg = 1.524 a 4.572 m/seg

Por lo cual nuestros resultados son correctos.

Numero de Reynolds:

Tenemos que:

$$R = \frac{vD}{\nu} = \frac{(3.24m/seg)(0.307m)}{3.36 \times 10^{-7} m^2/seg} = 0.2960 \times 10^7 = 2.96 \times 10^6 \text{ es Re gimen Turbulento}$$

9.5 AISLAMIENTO TÉRMICO.

Tomando los siguientes datos:

Capacidad del buque mas grande = 24,000 T m

Considerando que el tiempo de vaciado seria de 48 horas, condición que se presentaría cuando opere el buque más grande, para lo cual se tendría el siguiente gasto:

$$\frac{24,000Tm}{48hrs} = 500Ton/hr = 862m^3/hr \cong 240LPS \text{ a } -37^\circ C = -34^\circ F$$

Que con la tubería de acero al carbón de 12" de diámetro cédula 40 se cumple con este gasto y las especificaciones establecidas en las normas

De acuerdo con AHMSA la tubería tiene las siguientes características:

$$\Phi_{Exterior} = 32.4cm = 0.324m$$

$$\Phi_{Interior} = 30.7cm = 0.307m$$

$$Espesor = 0.84m$$

$$Peso = 65.2kg/m$$

Revisando la normatividad para aislante térmico para bajas temperaturas tenemos lo siguiente:

Para tubería de 12" de diámetro trabajando de $-41^\circ C$ a $-51^\circ C$ tenemos:



- (MA-14) Vidrio Circular Humedad Relativa aire 80% espesor =114mm (4 1/2")
- (MA-12) Espuma Rígida de Poliuretano Hum. Rel. aire 90% espesor =89mm (3 1/2")
- (MA-17) Espuma Rígida de Poliuretano Hum. Rel. aire 80% espesor =64mm (2 1/2")
- (MA-16) Poliuretano Celular Humedad. Relativa. aire 90% espesor =140 mm (5 1/2")
- (MA-16) Poliuretano Celular Humedad. Relativa. aire 80% espesor =76mm (3")

En base a lo anterior proponemos Espuma Rígida de Poliuretano Humedad Relativa aire al 80% espesor = 64 mm (2 1/2")

Volumen del líquido (gas propano LP) por metro de tubería:

Peso Específico a $-37^{\circ}C = 580kg / m^3$

$$\text{Volumen del Líquido} = \frac{\pi D^2}{4} L = \frac{(3.1416)(0.307m)^2}{4} (1m) = 0.074m^3$$

$$\text{Peso del Líquido} = VP_e = (0.074m^3)(580kg / m^3) = 42.93kg \cong 43kg$$

Camisa de acero:

Diámetro exterior tubería para gas propano LP = 32.4 cm

Aislamiento térmico 2(6.4 cm) = 12.8 cm

Total = 45.2 cm

La camisa sería de tubería de acero al carbón de 18" de diámetro cedula estándar (6.35 mm FLP= 0.250")

$$\Phi_{Exterior} = 45.72cm = 0.4572m$$

$$\Phi_{Interior} = 44.45cm = 0.4445m$$

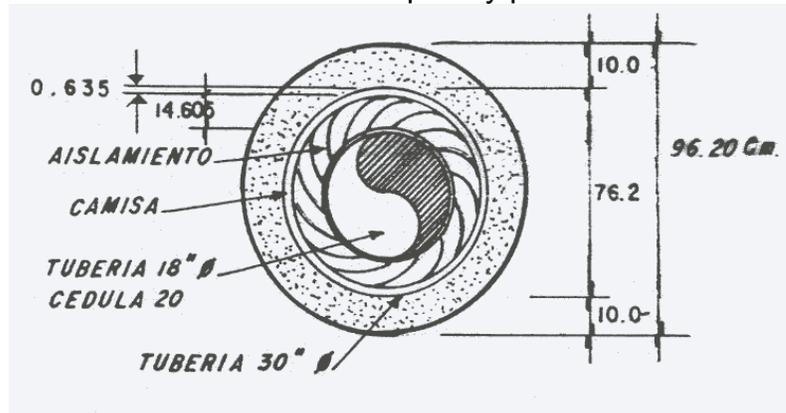
$$\text{Espesor} = 0.635cm$$

$$\text{Peso} = 78.9kg / m$$

$$\text{Densidad} = 40.1kg / m^3 \text{ a } 64.1kg / m^3$$

Cálculo del volumen del poliuretano y peso del mismo:

Figura 23. Tubería submarina con chaqueta y poliuretano.





Tenemos que:

$$V_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} L = \frac{(3.1416)(0.324m)^2}{4} (1m) = 0.082m^3$$

$$V_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} L = \frac{(3.1416)(0.4445m)^2}{4} (1m) = 0.155m^3$$

$$\text{Volumen del Poliuretano} = V_2 - V_1 = 0.155m^3 - 0.082m^3 = 0.073m^3$$

$$\text{Densidad} = \frac{(40.1) + (64.1)}{2} = 52.1kg / m^3$$

$$\text{Peso} = (52.1kg / m^3)(0.073m^3) = 3.80kg$$

Peso de la tubería, camisa y aislante térmico:

Tubería de acero al carbón e 12" de diámetro	= 65.2 kg/m
Camisa de tubería de acero al carbón de 18" de diámetro	= 78.9 kg/m
Aislamiento de poliuretano	= 3.8 kg/m
Total peso tubería sin producto	= 147 kg/m

Volumen del agua desalojada por el tubo con camisa de 18" de diámetro:

$$V_{\text{AguaDesalojada}} = \frac{\pi D^2}{4} L = \frac{(3.1416)(0.4572m)^2}{4} (1m) = 0.164173m^3$$

$$\text{Peso del Agua Desalojada} = V \rho_{H_2O} = (0.164173m^3)(1026kg / m^3) = 168.4421kg$$

$$\begin{aligned} \text{Densidad del Conjunto} &= \frac{\text{Peso de la Tubería sin Producto}}{\text{Volumen del Agua Desalojada por el Tubo}} = \frac{147.9kg}{0.164173m^3} \\ &= 900.878kg / m^3 < 1026kg / m^3 \text{ DensidadAgua de Mar} \end{aligned}$$

De acuerdo con estos cálculos, el conjunto de tubería flotará.

Y teniendo el líquido pesara:

$$\text{Peso del Conjunto con el Líquido} = 147.9kg + 43kg = 190.9k$$

Entonces tenemos que:

$$\text{Densidad del Conjunto con el Líquido} = \frac{\text{Peso de la Tubería con Producto}}{\text{Volumen del Agua Desalojada por el Tubo}}$$

$$= \frac{190.9kg}{0.164173m^3} = 1164kg / m^3 > 1026kg / m^3 \text{ Densidad Agua de Mar}$$

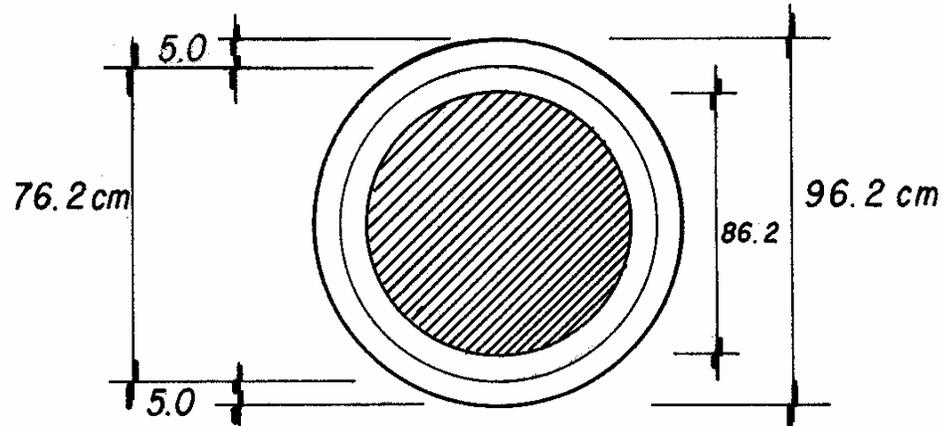
Aunque es mayor que la densidad del agua e mar, la diferencia es muy pequeña, por lo que es necesario integrarle un sistema de lastrado a la tubería de la chaqueta.

9.6 ACERO DE REFUERZO PARA SISTEMA DE LASTRADO DE TUBERIA

En normas de construcción para tuberías submarinas de conducción de producto se especifica que para espesores de concreto de 5 a 10cm se debe emplear malla de alambre calibre12



Figura 24. Tubería submarina lastrada.



Espesor del Lastre = $5\text{ cm} = 2''$

Perímetro de Referencia = $\pi D = (3.1416)(45.72\text{ cm}) = 143.63\text{ cm}$

Tenemos que:

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{(3.1416)(45.72\text{ cm})^2}{4} = 1,641.74\text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{(3.1416)(65.72\text{ cm})^2}{4} = 3,392.23\text{ cm}^2$$

$$\text{Área del Concreto} = A_2 - A_1 = 3392.23\text{ cm}^2 - 1641.74\text{ cm}^2 = 1750.49\text{ cm}^2$$

$$\text{Área Expuesta} = (0.004)(1750.49\text{ cm}^2) = 7.001\text{ cm}^2$$

Tenemos que el MALLA-LAC 4-4,0-0 tiene un área de $4.69\text{ cm}^2 / \text{mx}2.70\text{ m} = 12.66\text{ cm}^2 > 7.001\text{ cm}^2$ Área Expuesta

Por lo cual esta malla es la correcta

9.7 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE LASTRE.

Proponemos lastre a base de concreto armado con malla de refuerzo de acero (la que se calculo), de 2300 kg/m^3 a 10 cm de espesor.

Fuerza de la corriente sobre la tubería:

Para calcularla emplearemos la formula

$$P = K v^2 \text{ Sen}^2 \alpha$$

Donde:

$$P = \text{presión en } \text{kg} / \text{cm}^2$$

$$v = \text{velocidad de la corriente en } \text{m} / \text{seg} = 6\text{ nudos} = 3.09\text{ m} / \text{seg}$$

$$K = 70 \text{ Para Corrientes Perpendiculares sobre Superficies Planas}$$

$$K = 35 \text{ Para Corrientes Perpendiculares sobre Superficies Cilíndricas}$$

$$\alpha = \text{Ángulo de la Superficie con la Corriente} = 90^\circ$$

Entonces tenemos que:

$$P = K v^2 \text{ Sen}^2 \alpha = (35)(3.09\text{ m} / \text{seg})^2 \text{ Sen}^2 90^\circ = 334.18\text{ kg} / \text{m}^2$$



$$\text{Área del Concreto} = A_2 - A_1 = 3392.23\text{cm}^2 - 1641.74\text{cm}^2 = 1750.49\text{cm}^2 = 0.175\text{m}^2$$

$$\text{Volumen de un metro de Lastre} = (0.175\text{m}^2)(1\text{m}) = 0.175\text{m}^3$$

$$\text{Peso del Lastre} = (0.175\text{m}^3)(2,300\text{kg} / \text{m}^3) = 402.5\text{kg} / \text{m}^3$$

Entonces tenemos que:

Tubería de acero al carbón e 12" de diámetro	= 65.2 kg/m
Camisa de tubería de acero al carbón de 18" de diámetro	= 78.9 kg/m
Lastre de concreto	= 402.5 kg
Total peso tubería/m	= 546.6 kg/m

Nótese que no se considera el peso del aislamiento

$$\text{Volumen Desalojado} = \frac{\pi D^2}{4} L = \frac{(3.1416)(0.6572)^2}{4}(1\text{m}) = 0.3392\text{m}^3$$

$$\text{Peso del Agua Desalojada} = (0.3392\text{m}^3)(1,026\text{kg} / \text{m}^3) = 348.01\text{kg} / \text{m}$$

Peso del Cuerpo = 546.6kg / m > 348.01kg / m . Volumen del agua desalojada.

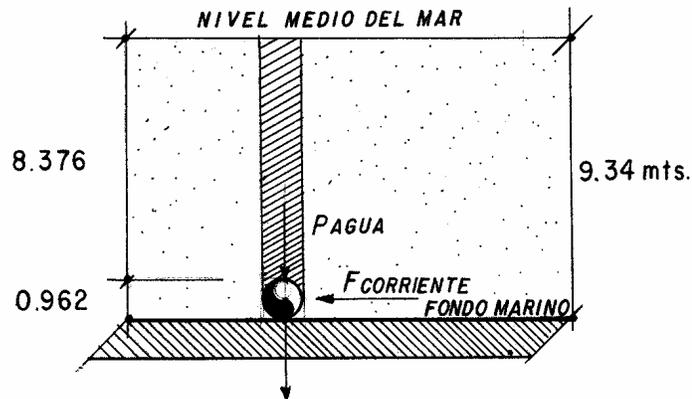
Por lo tanto no flotará. Si se agrega el peso del liquido = 43kg/m tenemos que el peso del conjunto (tubería llena) será = 546.6kg/m + 43kg/m = 589 kg/m > 348kg/m (la tubería no flotará)

Nota: Es factible regular el espesor del lastre de concreto

9.8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TUBO EN EL LECHO MARINO

Fuerzas que actúan sobre la tubería

Figura 25. Esquema de la tubería submarina en lecho marino.



$$\text{Pico Medio} = 19.34\text{m} + 1\text{m} = 20.34\text{m}$$

$$\text{Peso Propio} = 546.6\text{kg}$$

$$\text{Peso del Agua} = (20.34\text{m} - 0.6572\text{m})(0.6572\text{m})(1\text{m})(1,026\text{m}) = 15,969.008\text{kg} / \text{m}$$

$$\text{Fuerza de la Corriente} = P = K v^2 \text{Sen}^2 \alpha = (35)(3.09\text{m} / \text{seg})^2 \text{Sen}^2 90^\circ = 334.18\text{kg} / \text{m}^2$$

$$\text{Un metro lineal tuene} = (0.6572\text{m})(1\text{m}) = 0.6572\text{m}^2$$

$$\text{Entonces tenemos que la fuerza de la corriente sobre la tubería será} = (0.6572\text{m})(334.18\text{kg} / \text{m}^2) = 219.62\text{kg} / \text{m lineal}$$

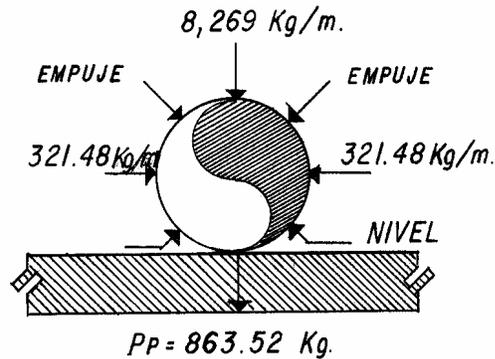
Nota; la fuerza del empuje estará equilibrada una vez se haya hundido la tubería

Masa de conjunto:



Figura 26. Fuerzas actuantes sobre la tubería submarina.

MASA DEL CONJUNTO:



$$\text{Masa de Conjunto} = \frac{15,969.008 \text{ kg} / \text{m} + 546.6 \text{ kg} / \text{m}}{9.81 \text{ kg} / \text{seg}^2} = 1683.55 \text{ kg} - \text{seg}^2 / \text{m}$$

$$\text{Fuerza de Rozamiento} = \mu N$$

$$\mu = \text{Coeficiente de Rozamiento Propuesto} = 0.5$$

$$\text{Aceleración Propuesta para que se mueva el tubo} = 1 \text{ m} / \text{seg}^2$$

Sin tomar en cuenta la fuerza de rozamiento.

Lo cual dará mayor seguridad y sin considerar que el tubo se entiera en el lecho marino.

Tenemos que:

Para mover la tubería, de tal manera que se le provoque una aceleración de $1 \text{ kg} / \text{seg}^2$, se necesitan:

$$F = ma = (1683.55 \text{ kg} - \text{seg}^2 / \text{m})(1 \text{ m} / \text{seg}^2) = 1683.55 \text{ kg}$$

Esto representa:

$$\frac{1683.55 \text{ kg}}{334.18 \text{ kg}} = 5.04, \text{ Veces mayor que la fuerza de la corriente sobre el tubo}$$

Lo cual es más que aceptable, el tubo no se moverá de su posición.

9.9 DIÁMETRO Y PRESIÓN REQUERIDA DE BOMBEO

Realizaremos el cálculo del diámetro de tubería requerido empleando los siguientes parámetros:

Elevación de Llegada = $+21 \text{ m}$

Gasto = $de 500 \text{ a } 00 \text{ Ton} / \text{hr}$

Capacidad del Mayor Buque = $24,000 \text{ Ton}$

Puesto que este es el mayor buque, podemos considerar que ocupa el máximo tiempo de descarga, entonces:

$$\frac{24,000 \text{ Ton}}{600 \text{ Ton} / \text{hr}} = 40 \text{ hrs}$$

Se observa que es menor que 48 hrs., especificados anteriormente como máximas de descarga,.

Entonces en base al peso específico del propano a una temperatura de -37°C que es de $0.58 \text{ Ton} / \text{m}^3$, tendríamos:



$$Gasto = Q = \frac{600 \text{Ton} / \text{hr}}{0.580 \text{Ton} / \text{m}^3} = 1034.48 \text{m}^3 / \text{hr}$$

Proponemos tubería de acero al carbón API-5L-52X de 12" de diámetro cedula 40.

Entonces tenemos que:

$$\Phi_{\text{Exterior}} = 32.4 \text{cm} = 0.324 \text{m}$$

$$\Phi_{\text{Interior}} = 30.7 \text{cm} = 0.307 \text{m}$$

$$r = 0.1535 \text{m}$$

$$\text{Viscosidad Cinemática} = \nu = 3.36 \times 10^{-7} \text{m}^2 / \text{seg}$$

$$A = \pi r^2 = (3.1416)(0.1535 \text{m})^2 = 0.0740 \text{m}^2$$

Ahora tenemos que:

$$Q = vA \Rightarrow v = \frac{Q}{A} \text{ Entonces}$$

$$v = \frac{1034.48 \text{m}^3 / \text{hr}}{0.0740 \text{m}^2} = 13,979.45 \text{m} / \text{hr} \times \frac{1 \text{hr}}{3600 \text{seg}} = 3.88 \text{m} / \text{seg} < 4,572 \text{m} / \text{seg},$$

Esto es correcto

Numero de Reynolds:

$$R = \frac{vD}{\nu} = \frac{(3.88 \text{m} / \text{seg})(0.307 \text{m})}{3.36 \times 10^{-7} \text{m}^2 / \text{seg}} = 0.3548 \times 10^7 = 3.548 \times 10^6 \text{ es Regimen Turbulento}$$

$$\frac{\text{Velocidad Máxima Permitida} \times 10^{-3}}{D} = \frac{0.004572}{30.7} = 0.0001449 \times 100\%$$

Entonces $f = 0.014$

Cálculo de pérdidas por fricción:

$$hf = \frac{fLv^2}{D2g}$$

$$f = 0.014$$

Entonces:

$$hf = \frac{fLv^2}{D2g} = \frac{(0.014)(100 \text{m})(3.88 \text{m} / \text{seg})^2}{(0.307 \text{m})2(9.81 \text{m} / \text{seg}^2)} = \frac{21.076}{6.02334} = 3.499\% \cong 3.5\% < 4\%$$

Esto es correcto.

Por lo tanto el diámetro propuesto es adecuado.

Presión requerida de bombeo:

Cálculo de las pérdidas por fricción, tenemos que:

En 1,250m de tubería desde el amarradero hasta la entrada de la planta de almacenamiento (limite de baterías), tendremos:

$$hf = \frac{fLv^2}{D2g} = \frac{(0.014)(2,250 \text{m})(3.88 \text{m} / \text{seg})^2}{(0.307 \text{m})2(9.81 \text{m} / \text{seg}^2)} = \frac{474.21}{6.02334} = 78.728 \text{MCA}$$

Tomando como nivel de bombeo la base ó quilla del buque, calado máximo 12 m tendremos:



Si además se requieren 3 kg/m² (30MCA) a la entrada de la planta, tendremos que, la carga total sera de:

$$78.728MCA + 12MCA + 30MCA = 120.73MCA \times \frac{1kg/cm^2}{10MCA}$$
$$= 12.07kg/cm^2 \times \frac{14.2234Lb/pulg^2}{1kg/cm^2} = 171.68Lb/pulg^2$$

Esto solo seria, cuando se descargara la máxima embarcación, a plena carga (a toda su capacidad), por lo cual es factible establecer que se trabajara normalmente a 143 Lb/pulg² ≈ 10 kg/cm².

CAPÍTULO X. SISTEMAS COMPLEMENTARIOS DE LA LÍNEA SUBMARINA

10.1 CABEZAL DE PLAYA.

Está conformado por un sistema operacional de válvulas especiales para el manejo de gas propano LP, en el extremo terrestre del la línea submarina, cuenta con implementos (manómetros, termómetros, etc.) para el control operacional y tiene integrada la trampa para envío de herramientas de limpieza y calibración ultrasónica interior de la tubería submarina, por lo cual otra función de este sistema es para el mantenimiento preventivo y correctivo de los demás componentes.

10.2 PLEM SUBMARINO

Al igual que el sistema anterior es un sistema operacional de válvulas especiales para el manejo de gas propano LP, situado en el lecho submarino, sirve de anclaje al extremo a la línea submarina y a éste se interconectan las mangueras submarinas, también tiene integrada la trampa para recibo de herramientas de limpieza y calibración ultrasónica interior de la tubería submarina, por lo cual otra función de este sistema es para el mantenimiento preventivo y correctivo de los demás componentes.

10.3 TREN DE MANGUERAS SUBMARINAS

Es un sistema de tren integrado con 8 mangueras submarinas (proponemos de 12" de diámetro interior de material neopreno ó hypolón = 30.48 cm por 35" de longitud = 10.5m, brida de 225 PSI de acero inoxidable) especiales para anejo de gas propano LP, unida con tortillería de acero inoxidable y juntas flexitalicas y que tiene como función la de servir de esquema de interconexión entre el plem submarino y el manifuld del buque.

Integración del tren:

- Una manguera submarina de extremos reforzados
- Seis mangueras submarinas estándar
- Una manguera submarina de conexión a buque (barbell)

Utilizando mangueras submarinas de 12" diámetro interior tendremos:



$$\text{Diámetro} = D = 30.48\text{cm} = 0.3048\text{m}$$

$$\text{Gasto} = Q = 628\text{LPS} = 0.628\text{m}^3 / \text{seg}$$

$$Q = vA \Rightarrow v = \frac{Q}{A} \text{Entonces}$$

$$v = \frac{0.628\text{m}^3 / \text{seg}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{0.628\text{m}^3 / \text{seg}}{\frac{(3.1416)(0.3048\text{m})^2}{4}} = \frac{0.628\text{m}^3 / \text{seg}}{0.07296\text{m}^2} = 8.61\text{m} / \text{seg}$$

Esta velocidad es adecuada, debido a que, la velocidad máxima marcada por algunos fabricantes de mangueras es de 40 pies/seg = 12.192 m/seg.

Presión de operación:

Deberá vencer la fricción de aproximadamente 1250m de tubería d 12" de diámetro, que al gasto calculado tendrá pérdidas por fricción del 3.02%

$$\text{Carga en la Línea} = (2250\text{m})(0.0302) = 67.95\text{MCA} = 6.795\text{kg} / \text{cm}^2 = 6.8\text{kg} / \text{cm}^2$$

Si consideramos que requerimos a la salida una presión de 3 kg/cm² Tendremos que:

$$\begin{aligned} \text{Total de Carga a Vencer} &= 6.8\text{kg} / \text{cm}^2 + 3\text{kg} / \text{cm}^2 = 9.8\text{kg} / \text{cm}^2 \times \frac{14.2234\text{Lb} / \text{pulg}^2}{1\text{kg} / \text{cm}^2} \\ &= 139.4\text{Lb} / \text{pulg}^2 \end{aligned}$$

Por lo tanto, trabajando con tuberías, mangueras y válvulas que tengan capacidad 200 Lb/pulg² ó 225 Lb/pulg², será apropiado.

Temperatura de operación de -42.2°C a presión 0

Material interior de las mangueras, neopreno (CR) ó hupalón, material exterior adecuado para agua de mar (≈10°C).

10.4 VÁLVULA DE EXTREMO DE MANGUERA

Esta válvula se emplea para regular los parámetros operacionales de flujo, presión y temperatura durante todo el proceso, normalmente se integra una válvula tipo macho del diámetro de las mangueras especial para el manejo de gas propano LP, es parte integrante del esquema de interconexión al buque.

10.5 SISTEMA DE INTERCONEXIÓN RÁPIDA

Es un mecanismo que se integra en el extremo de la manguera, como parte integral del sistema de interconexión al buque, es un esquema que tiene como función la conexión y desconexión rápida en caso de un percance para lanzar las mangueras submarinas en forma casi inmediata, es de vital importancia y se integra por seguridad y está contemplado en las regulaciones y normas internacionales.

10.6 BOYA DE SEÑALIZACIÓN DE POSICIÓN DE MANGUERAS.

Es un sistema cuya función fundamental es la de señalar el sitio en el que se encuentra el extremo de la manguera submarina en el lecho marino.

La boya de extremo de la manguera deberá soportar su peso propio y el de la cadena para izado, pero además la cadena deberá soportar el peso de la manguera con líquido.



$Peso\ de\ la\ Manguera \cong 70\text{kg} / m$

Si tenemos 8 mangueras de 35" = 10.5 m

$Longitud\ del\ Tren = 8(10.5\text{m}) = 84\text{m}$

Peso del líquido:

Diámetro Interior de la manguera = $12\ pu\ lg \frac{0.0254\text{m}}{1\ pu\ lg} = 0.3048\text{m}$

Volumen de líquido por metro de manguera = $\frac{\pi D^2}{4}(1\text{m}) = \frac{(3.1416)(0.3040\text{m})^2}{4}(1\text{m})$
 $= (0.07296\text{m}^2)(1\text{m}) = 0.07296\text{m}^3$

A -42.2°C el peso específico del gas propano LP líquido es de 0.585 Ton/m³, o sea que cada metro de manguera tendrá:

Peso del líquido = $(0.07296\text{m}^3)(0.585\text{Ton} / \text{m}^3) = 0.04269\text{Ton} = 42.69\text{kg}$

Peso del Sistema = $Peso(Líquido + Manguera) = 42.69\text{kg} + 70\text{kg} = 112.69\text{kg}$

Si son 84 metros tendremos:

Peso Total = $(84\text{m})(112.69\text{kg}) = 9465.96\text{kg} = 9.466\text{Ton}$

Empuje del agua de mar:

La manguera tiene un diámetro exterior aproximado de 0.4327m

Volumen de por metro de manguera = $\frac{\pi D^2}{4}(1\text{m}) = \frac{(3.1416)(0.4327\text{m})^2}{4}(1\text{m})$

= $0.147\text{m}^3 / m$ Lineal de Manguera

Peso del Agua Desplazada por la Manguera = $(0.147\text{m}^3 / m\ de\ Mang.)(1026\text{kg} / \text{m}^3)$

= $150.87\text{kg} / m$

La densidad de la manguera con gas propano LP será:

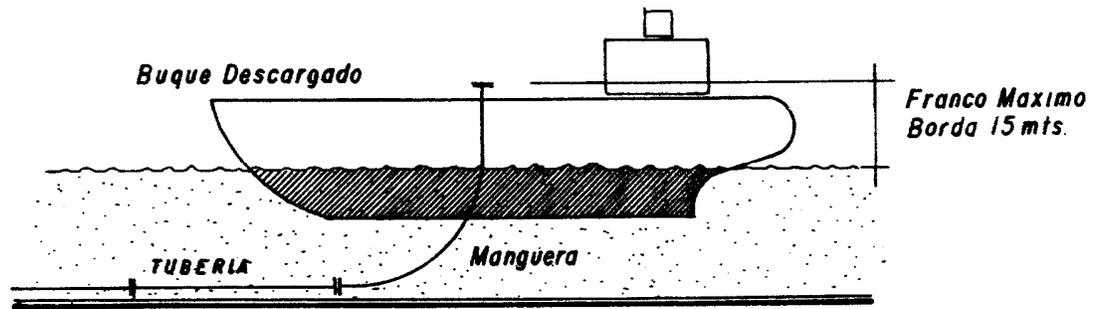
Densidad de la Manguera = $\left(\frac{0.11269\text{Ton}}{0.147\text{m}^3}\right) = 0.644\text{Ton} / \text{m}^3 < 1.026\text{Ton} / \text{m}^3$

Vemos que la manguera tenderá a flotar, pero debido a los accesorios válvulas, bridas, etc., en su extremo, aumentara su peso y la manguera se mantendrá asentada en el lecho marino.

Sin embargo debido a esto, la cadena para elevar la manguera y sujetar la boya, deberá tener capacidad para soportar su propio peso la manguera y la boya:

Para la capacidad de la cadena tenemos:

Figura 27. Esquema general de conexión a buque.



El peso de la manguera con gas propano LP a la brida del barco sería:
 $15m + 8m = 23m$, Aproximadamente a la brida del barco.

$$\text{Peso Total} = (23m)(12.69kg / m) = 2592kg + 0.650kg = 3242kg = 3.242Ton$$

Donde 0.650 kg es el peso aproximado de los accesorios

Usando un factor de seguridad por ruptura de = 2.5

$$\text{Esfuerzo de Ruptura} = (2.5)(3.242Ton) = 8.105Ton$$

Proponemos cadena de eslabón sin contrete grado U-2 de 1" de diámetro = 2.54 cm con cargas de:

De prueba = 4,200 kg = 4.2 Ton.

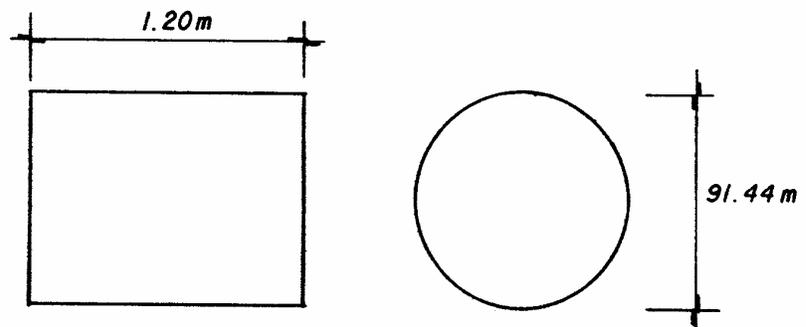
De ruptura = 8,400 kg = 8.4 Ton.

Diseño de la boya para manguera:

Proponemos el siguiente diseño:

Figura 28. Boya de señalización para manguera.

1ª. Alternativa



Usando tubería de 36" (91.44cm) \varnothing con espesor de 9.52mm (3/8")

Usando tubería de 36" de diámetro = 91.44cm = 0.9144m, con espesor de 3/8 = 9.52 mm

Para el cuerpo de la boya:

$$\text{Peso por Metro Lineal} = (212.52kg / m)(1.20m) = 255.02kg$$

Para las tapas de la boya:

$$\text{Especificación de Peso de la Placa de } 3/8 = 74.7kg / m^2$$



$$\text{Área de las Tapas} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) = \left(\frac{(3.1416)(0.9144m)^2}{4} \right) = 0.656m^2$$

$$\text{Peso de la Placa de las Tapas} = 2(0.657m^2)(74.7g) = 98.16kg$$

$$\text{Peso de la Boya} = 255.02kg + 98.16kg = 353.18kg$$

$$\text{Volumen de la Boya} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) h = \left(\frac{(3.1416)(0.9144m)^2}{4} \right) (1.20m) = 0.788m^3$$

$$\text{Longitud de la Cadena} = (17.68m)(1.5) = 26.52m \cong 27m$$

Peso de cadena de eslabón sin concreto marca "Vicinay" grado U-2 de 1" de diámetro = 2.54 cm con peso de 4.60 kg/m:

$$\text{Peso de la Cadena} = (27mm)(4.60kg) = 124.2kg$$

$$\begin{aligned} \text{Peso de la Boya mas Accesorios} &= 353.18kg + 124.2kg + 75kg = 552.38k \\ &= 0.55238Ton / m^3 \end{aligned}$$

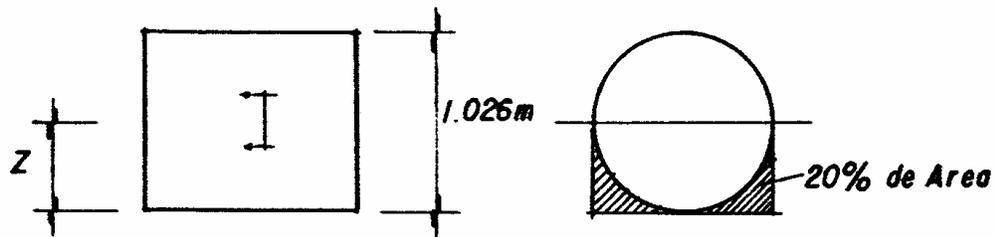
Donde 75 kg es el peso aproximado de los accesorios.

$$\text{Densidad Específica de la Boya} = \frac{M}{V} = \frac{0.55238Ton}{0.788m^3} = 0.70098kg / m^3 < 1.026Ton / m^3$$

Densidad especifica del agua de mar, por lo tanto la boya flotará.

Cálculo del factor de flotación de la boya de señalización:

Figura 29. Esquema de flotación boya de señalización.



$$V_x = \text{Volumen de Cadena de la Boya} = [(0.9144m)(0.80)](z)(1.20m) = 0.878z$$

$$\text{Peso de la Boya} = 0.55238Ton$$

$$V_x \text{ Densidad del Agua de Mar} = V_x (1.026Ton / m^3) = P$$

$$(0.878z)(1.026Ton / m) = 0.55238Ton$$

$$z = \frac{0.55238Ton}{(0.878)(1.026Ton / m^3)} = 0.613m$$

$$C - G = \frac{0.9144m}{2} - (0.613m)(0.60) = 0.09m$$



$$I_{\text{Circuncenteo}} = \frac{LD^2}{12} = \frac{L^2 D}{12} = \frac{(1.20m)(0.9144m)^2}{12} = \frac{(1.20m)^2(0.9144m)}{12} = 0.0836m^4$$

$$= 0.1097m^4$$

$$\text{Metacentro} = MC = \frac{I}{V} = \frac{0.1097m^4}{(0.80)(0.613)(0.9144)} = 0.24m$$

$$= \frac{0.0836m^4}{(0.80)(0.613)(0.9144)} = 0.19m$$

El **MC > C-G** el metacentro está arriba del centro de gravedad esto es correcto la boya de señalización tendrá estabilidad.

Fuerza del viento, oleaje y corriente sobre la boya de señalización:

$$\text{Área Expuesta al Viento} = (0.9144 - 0.61)m(1.20m) = 0.36528m^2$$

$$\text{Fuerza del Viento} = F_v = CV^2 A = (0.00363)(120m / \text{seg})^2 (0.36528m^2) = 19.10kg$$

$$\text{Fuerza de la Corriente} = F_c = F_d + F_f$$

$$= (2.574)(6)^2 (1.20)(0.9144) + (0.01)(6)^2 (1.20)(0.9144) = 101.68kg + 0.395kg$$

$$= 102.07kg$$

$$\text{Fuerza del Oleaje} = F_o = (0.788m^3)(1.026ton / m^3) = 0.80845Ton = 808kg$$

$$\text{Fuerza Total} = F_v + F_c + F_o + \text{cadena} + \text{accesorios}$$

$$= 19.10kg + 102.07kg + 808.45kg + 124.2kg + 650kg = 1,703.61kg = 1.703Ton$$

Vemos que el esfuerzo se cubre ampliamente con la cadena propuesta

CAPÍTULO XI .PROTECCIÓN CATÓDICA.

11.1 ÁREA DE LA BOYA DE AMARRE A PROTEGER.

Parámetros generales del ánodo a utilizar para la protección catódica de la boya de amarre:

Tipo de Ánodo: Aluminio galvanum.

Tabla 10. Parámetros para la protección catódica.

Capacidad drenado de la corriente	1,280 amp-hr/Lb
Eficiencia técnica	95%
Consumo anódico (C)	6.8 Lb/amp-año
Eficiencia práctica (Ep)	80%
Peso específico	165 Lb/pie ³
Constante de Faraday del ánodo (Fc)	1284 amp-hr/Lb
Resistividad del electrolito (agua –mar)	200 cm
Densidad de corriente considerada	0.011amp/pie ²
Corriente de protección requerida (I)	2.36amp
Tiempo de duración de los ánodos (Vo)	10 años



$$\text{Peso de \u00c1nodo} = W = \frac{ICV_o}{Ep}$$

Incremento de peso por corriente drenada del mismo \u00e1nodo:

$$I = \frac{0.25L}{(0.0626)\delta \left(\log_N \frac{4L}{\gamma} - 1 \right)}$$

$$\delta = 20 \text{ ohms-cm}$$

$$\text{Tiempo de Vida \u00fasil} = Y = \frac{Fc(Ep)W}{(8760)I}$$

\u00c1rea de la boya a proteger:

Dado su nivel de flotaci\u00f3n tendremos:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} + \pi Dh = \frac{(3.1416)(3.20m)^2}{4} + (3.1416)(3.20m)(1.22m)$$

$$= 8.04m^2 + 12.26m^2 = 20.3m^2 = 219.2 \text{ pies}^2$$

11.2 CORRIENTE DE PROTECCI\u00d3N REQUERIDA

\u00c1rea/bloque de 24" \u2205 x 18m = 34.47m² \u2192 4.08 amp

\u00c1rea/bloque de 32" \u2205 x 18m = 45.92m² \u2192 5.10 amp

\u00c1rea/bloque de 36" \u2205 x 18m = 51.71m² \u2192 6.12 amp

Si tomamos una proporci\u00f3n aproximada tendr\u00edamos:

$$4.06amp \Rightarrow 34.47m^2$$

$$x \Rightarrow 20.3m^2$$

$$x = 2.39amp$$

$$5.10amp \Rightarrow 45.96m^2$$

$$x \Rightarrow 20.3m^2$$

$$x = 2.25amp$$

$$6.12amp \Rightarrow 51.71m^2$$

$$x \Rightarrow 20.3m^2$$

$$x = 2.40amp$$

$$\text{Promedio} = \frac{2.39amp + 2.25amp + 2.40amp}{3} = 2.35amp$$

$$\text{Peso de \u00c1nodo} = W = \frac{ICV_o}{Ep} = \frac{(2.35amp)(6.8Lb / amp - \u00e1\u00f1o)(10a\u00f1os)}{0.80} = 199.75Lbs$$

$$\text{Volumen Requerido} = \frac{199.75Lb}{165Lb / pie^3} = 1.21pies^3$$

Si se plantea emplear \u00e1nodos de 12" de di\u00e1metro x 20" de longitud tendr\u00edamos:

$$\text{Volumen del \u00c1nodo} = \pi \left(\frac{6}{12} \right)^2 \frac{20}{12} = 1.3089Pies^3$$



$$\text{Peso del \u00c1nodo} = W = P_e V = (165 \text{ Lb} / \text{pie}^3) (1.3089 \text{ pies}^3) = 215.97 \text{ Lbs} \cong 216 \text{ Lbs}$$

$$I = \frac{0.25L}{(0.0626)\delta \left(\text{Log}_N \frac{4L}{\gamma} - 1 \right)} = \frac{(0.25)(20)}{(0.0626)(20) \left(\text{Log}_N \frac{4(20)}{6} - 1 \right)} = 2.51 \text{ amp}$$

$$\text{Tiempo de Vida \u00cdtil} = Y = \frac{F_c (E_p) W}{(8760) I} = \frac{(1284)(0.8)(216)}{(8760)(2.51)} = 10.09 \text{ a\u00f1os}$$

Vemos que estos \u00e1nodos son los apropiados.

CAP\u00cdTULO XII. AN\u00c1LISIS DE COSTOS.

12.1 COSTOS APROXIMADOS DE UN AMARRADERO CONVENCIONAL.

El costo de un amarradero convencional en an\u00e1lisis aproximado es el siguiente:

Relaci\u00f3n de herramienta, maquinaria y equipo necesarios:

- Chal\u00e1n equipado con wincues de 40,000 Toneladas y Unidad habitacional
- Remolcador de 15.000 HP y personal marino.
- Gr\u00faa de 120 Ton.
- Lancha amarradota de 3,000 HP
- Lancha con motor fuera de borda de 75 HP
- Compresor de buceo
- Equipos de buceo
- Implementos de maniobra.
- Trascabo D-8
- Tractor pluma D-9
- Gr\u00faa de 22 Ton.
- Maquinas de soldar
- Equipo de oxicorte
- Parachutes
- Maquina de lastrado
- Equipo de Sand-Blas
- Equipo de aplicaci\u00f3n de pintura
- Multiflamma
- Compresor de 600
- Implementos para pruebas hidrost\u00e1ticas
- Man\u00f3grafo
- Herramienta de limpieza interior para tuber\u00eda
- Revolvedora de concreto
- Tracto cami\u00f3n con plataforma de 30 Ton.
- Cami\u00f3n redila de 3 Ton
- Camioneta Pic-Up
- Herramienta menor
- Equipos de seguridad

Relaci\u00f3n de personal profesional, t\u00e9cnico y obrero:

- Superintendente de proyecto



- Ingeniero especialista costa afuera
- Supervisor especialista costa afuera
- Ayudante de ingeniero
- Operarios especialista buceo
- Ayudante de operarios especialista buceo
- Operario especialista diversos oficios
- Ayudante de Operario especialista diversos oficios
- Operador de equipo mecánico grueso
- Ayudante de Operador de equipo mecánico grueso
- Operarios especialista soldador
- Operarios especialista liniero
- Operarios especialista maniobrista
- Operador d trascabo
- Operador de tractocamión
- Lancharo
- Oficinistas
- Ayudantes de marina
- Obreros generales

Relación de materiales:

- Tubería de acero al carbón de 12" de diámetro API-5L-Gr.X52. de 0.375" de espesor, para conducción de producto
- Poliuretano espiado para protección térmica
- Tubria de acero al carbón de 18" de diámetro API-5L-Gr.X52. de 0.250" de espesor, para chaqueta.
- Válvula de compuerta paso completo de 12" de diámetro, extremos bridados, para manejo de gas propano LP
- Cinta termocontractil
- Kit de reparación de juntas de soldadura.
- Malla electrosoldada
- Soldadura
- Oxígeno
- Acetileno
- Mortero
- Cubeta de envío de herramienta e limpieza
- Termómetros de acero inoxidable, rango -50°C
- Manómetros bordón de acero inoxidable, rango 300PSI
- Válvula de globo paso completo de 12" de diámetro, extremos bridados, para manejo de gas propano
- Mangueras marinas de 12"x 35" de diámetro, para manejo de gas propano
- Trampa submarina de recibo de herramienta de limpieza
- Válvula macho de 12" de diámetro, extremos bridados, para manejo de gas propano LP.
- Sistema de interconexión rápida (camlock)
- Luces de situación estroboscópicas, con panel solar
- Boyas de amarre
- Gancho de largado rápido de 40.000 Ton



- Grilletes de unión tipo D
- Eslabones de unión
- Cadena de 2 ¾" de diámetro con concreto grado U-3
- Destorcedores
- Anclas tipo Danfor
- Cadena de 1" de diámetro sin concreto grado U-2
- Boya de señalización

El esquema general de costos sería:

Ingeniería de proyecto	\$ 12'560,000.00
Costos de herramienta, maquinaria y equipo	\$123'545,000.00
Costos de personal profesional, técnico y obrero	\$ 68'875,000.00
Costos de materiales	\$452'340,000.00
Total	\$657'320,000.00

12.2 COSTOS APROXIMADOS DE UN PUERTO Y UN MUELLE DE ATRAQUE.

Si consideramos que 1000 metro de escollera cuestan aproximadamente \$842'350,000.00, hasta la cota -20.

Para la integración de un sistema de abrigo de un puerto se requieren en promedio 3200 metro de escollera.

Un muelle tipo espigón de 60,000TPM de capacidad cuesta aproximadamente con todo el esquema operacional (defensas, ganchos de amarre, Bitas de amarre, etc.) \$876'980,000.00

El esquema de tuberías de producto y red contraincendio de un muelle con todos sus implementos (válvulas, actuadores, torretas, extintores, etc) de tipo espigón de 60,000TPM de capacidad cuesta aproximadamente \$380'426,000.00

El esquema general de costos sería:

Costo de Ingeniería de proyecto	\$ 48'750.000.00
Costo de sistema de protección (escolleras)	\$2'695'520,000.00
Costo de muelle tipo espigón de 60,000 TPM	\$ 876'980,000.00
Costo de tuberías de producto y red contra incendio	\$ 380'426,000.00

Total **\$4'001'676,000.00**

CAPÍTULO XIII. CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se pueden obtener del desarrollo de este trabajo son las siguientes:

- El costo de proyección y construcción de un amarradero convencional en relación con una instalación portuaria integrada con muelles y escolleras es muy considerable.
- Aunque los costos de mantenimiento preventivo y correctivo son un poco costosos y muy especializados, éstos se compensan con los costos de construcción.



- A pesar de existir varias instalaciones de este tipo en nuestro país y en Latinoamérica, no se desarrolla ingeniería de detalle en este campo.
- Por lo anterior continua la dependencia tecnológica en este ramo, este trabajo es un intento de evitar eso.
- Requieren el esquema de certificación clase por casas clasificadoras
- Son instalaciones muy seguras
- Están reguladas por normatividad internacional en todo su esquema (implementos, procesos operativos, estudios de impacto ambiental, seguridad del personal y medio ambiente, etc.)
- Para los procesos de mantenimiento, preventivo, correctivo y operacionales se requiere de personal especializado en el ramo marino.
- Es necesario la capacitación continua de todo el personal en todas las ramas.
- Es necesaria la revisión y actualización continua de los programas de mantenimiento, estudio de impacto ambiental y procesos operacionales.
- Para el mantenimiento y operación requiere del apoyo de embarcaciones (Buque taller, remolcadores, lanchas amarradotas y de motor fuera de borda).

BIBLIOGRAFÍA.

- Manual del ingeniero civil, Fredericks Merritt, Ed. McGraw Hill, 1999.
- Mecánica para ingenieros, Joseph F. Shelley, Ed. McGraw Hill, 1994.
- Manual de especificaciones técnicas de implementos marinos de la empresa Vicinay, 1995.
- Estructuras marítimas, Luis Herejía de la Torre, Ed. Limusa, 1997.
- Ingeniería mecánica estática, Bela I. Saldor, Ed. P.H.H., 1996.
- Dock. and harbour engineering, H.P. Oza y G.H. Oza, 1990.
- Charotar book stall tulsı sadan, station road anand. (N. RLY), India 1976.
- Norma 2.616.02 de construcción de obras de PEMEX aislamientos térmicos para bajas temperaturas, 1991.
- Norma 3.112.03 de construcción de obras de PEMEX recubrimiento continuo en tuberías de conducción, 1991.
- Especificaciones PEMEX CT-200, 1995.
- Normas y especificaciones ASTM. ANSI, 1999.
- Notas datos de la flota mundial de la empresa Loyds Registers, 1997.



RESUMEN

Partiendo del concepto general que un amarradero convencional es una instalación marina costa afuera interconectada con instalaciones terrestres a través de líneas de tubería submarinas de conducción de productos de diversos diámetros y longitudes, estas en función de la posición geográfica de la instalación y los requerimientos operacionales de la misma, la cual se emplea para el atraque de embarcaciones cuya capacidad de ésta y de sus componentes se determina a través del modelo motivo de esta tesis.

Su importancia en el desarrollo de la tecnología mundial se fundamenta en los avances tecnológicos de la industria marítima a partir de los años 60 en que las grandes navieras en el ámbito mundial en base a las necesidades del manejo de grandes volúmenes con mejores costos del transporte marítimo mundial de hidrocarburos y gases para el comercio internacional iniciaron la construcción de embarcaciones de más de 25,000TPM de capacidad.

En la actualidad se cuenta en el ámbito mundial para el transporte de gases e hidrocarburos con buques tanques de 300.000TPM de capacidad.

Esto generó la necesidad de adecuar la capacidad de atraque de las instalaciones existentes, que en función de la respuesta económica de los países y empresas transnacionales dieron origen al diseño de nuevas tecnologías en la rama de las instalaciones marinas con menores costos de diseño y construcción y que operaran dentro de un marco de seguridad y protección al medio ambiente marino.

La importancia del esquema tecnológico que soporta el desarrollo de estas instalaciones marinas son sus costos de diseño, construcción y procesos operacionales en relación con el de otro tipo de instalaciones de atraque para embarcaciones con capacidades superiores a las 30,000 TPM.

Por lo anterior el diseño y construcción de un amarradero convencional esta directamente relacionado con la capacidad económica y desarrollo tecnológico de uso que le aplique a esta instalación el organismo gubernamental o empresa que la requiera.

Considero importante señalar que una gran limitante en el esquema operacional de estas instalaciones es que por la capacidad de atraque normalmente se encuentran mar adentro lo cual genera condiciones de alto riesgo, dando origen a que estén reguladas y vigiladas éstas y sus componentes por la mayoría de las organizaciones mundiales de protección al medio ambiente marino. Siendo de vital importancia en el desarrollo del proceso constructivo y tramite de permisos operacionales el estudio de impacto ambiental para este tipo de instalaciones.

La importancia que reviste este modelo físico-matemático para la integración de una memoria de cálculo de un amarradero convencional es la de cubrir este requerimiento sobre la base del desarrollo tecnológico de nuestro país como principal productor y exportador de crudo, diversos derivados de hidrocarburos y gas natural en el ámbito mundial, no restándole importancia al hecho del manejo de estos productos para su distribución a lo largo del gran litoral con que cuenta nuestro país, como soporte fundamental del desarrollo tecnológico del mismo.