

PAPER #301

RAUL E. PODETTI
INGENIERO NAVAL

PABLO MASSERONI
Ingeniero Naval

ASPECTOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION
DE UN CARGADERO PARA BUQUES TANQUES
CON BOYA DE CABEZAL GIRATORIO (SPM)

VIII° CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERIA NAVAL

Ing. RAUL E. PODETTI
Ing. PABLO MASSERONI
Departamento Costa Afuera
SANYM S.A.
ARGENTINA

ASPECTS OF THE DESIGN AND INSTALATION OF A LOAD/UNLOADING
CRUDE OIL SYSTEM WITH A SINGLE POINT MOORING BUOY-(SPM)-

ABSTRACT

Pablo Masseroni

Raúl E. Podetti

This is a technical work that consists on the evaluation and description of the different aspects of the design and installation of the system in the South Atlantic coast of Arcentina.

Some of the aspects mentioned on this paper are the on-shore preparation works, the pipelaying operation pulling from a barge, and the instalation of the pipeline end manifold, buoy and hoses.

It also includes a discussion of the different possible methods to develop this operation, and stress calculations.

This installation was developed in 1979 at Caleta Cordova, situated in the Province of Chubut, extending out into the Golfo de San Jorge. This system consists of two submarine pipelines, one of 30" diameter line, used for crude export and the other, a 14" diameter, used for bunker, each of 3700m. long from shore to the buoy, located in 24m. water depth.

bras terrestres.
Desarrollo de la ingeniería marítima.
Desarrollo del plan de adquisiciones y contrataciones.

II- Trabajos ON-SHORE, preparación de las tuberías marítimas. Construcción de la boya de cabezal giratorio.

III-Trabajos OFF-SHORE: tendido de las tuberías marítimas por tracción desde un pontón, instalación del PLEM, anclas, cadenas y boya con mangueras.

Este tercer aspecto, los trabajos OFF-SHORE, es el motivo del presente trabajo técnico, el cual fue elegido por las características peculiares que presenta desde el punto de vista de la Ingeniería Naval y Oceánica.

DESARROLLO

Los temas tratados se han dividido bajo los siguientes títulos:

- UBICACION
- PREPARACION DE LA TUBERIA EN TIERRA PARA SU TENDIDO
- ASPECTOS DE LA SOLDADURA DE LAS TUBERIAS
- ASPECTOS DEL TENDIDO COSTA AFUERA
- PRUEBAS DE PRESION DE LAS CADERNAS
- INSTALACION DEL PLEM (Pipe Line End Manifold)
- INSTALACION Y TENSIONADO DE ANCLAS Y CADERNAS
- MANGUERAS SUBMARINAS Y FLOTANTES
- INSTALACION DE LA BOYA
- MANTENIMIENTO DE LA TERMINAL
- OPERACION DEL SISTEMA

ASPECTOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CARGADERO PARA BUQUES TANQUES CON BOYA DE CABEZAL GIRATORIO (SPM)

INTRODUCCION

Se trata de la construcción e instalación de un sistema con boya flotante de cabezal giratorio tipo SPM - CALM (Single Point Mooring - Catenary Anchor Leg Mooring) con un sistema de fondeo consistente en 4 líneas de cadena de 265 m. cada una con 2 anclas de 15 t con capacidad para operar con buques tanque de hasta 60.000 tpb. La instalación en tierra consiste en la construcción y montaje de una estación de bombeo de 3.000 m³/h de capacidad con pileta recuperadora, central de operación e instalación de transmisión por línea aérea, transformación y alimentación de energía eléctrica. Potencia total instalada: a través de una subestación de 3.000 KVA con posibilidad de ampliación a 6.000 KVA. La estación de bombeo aspira el petróleo desde una playa de tanques existente mediante un nuevo sistema de tuberías subterráneas, y lo impulsa a través de una tubería, también subterránea, de 30" de diámetro y 1,5 km. de longitud, hasta una cámara de costa, donde se conecta con una tubería submarina de igual diámetro y 3,5 km. de longitud. Esta tubería tiene un revestimiento de protección anticorrosiva, lastre de hormigón y protección galvánica y está asentada en el fondo y asegurada al mismo por medio de anclajes y cepos de hormigón y acero por corriente impresa.

El extremo de esta tubería se encuentra a una profundidad de 24 m., en este punto se conecta a un PLEM (Pipe Line End Manifold), el cual, a su vez, está conectado por medio de un sistema de mangueras submarinas, a la boya SPM con brazo de cabezal giratorio y por un sistema de mangueras flotantes conduce el petróleo al buque tanque amarrado y que se encuentra operando. El buque puede descargar el lastre a través de un sistema de mangueras y tuberías análogo al descrito, pero de un diámetro de 14" hasta un tanque de almacenamiento que, a través de una pileta recuperadora, recuperará el residuo del petróleo, descargando el agua limpia nuevamente al mar. El desarrollo de la obra se hizo en tres sectores:

I - Relevamientos hidrográficos y topográficos, medición de corrientes, estudio de olas y de características del fondo marino. Desarrollo de la ingeniería electromecánica, eléctrica y civil correspondiente a las o -

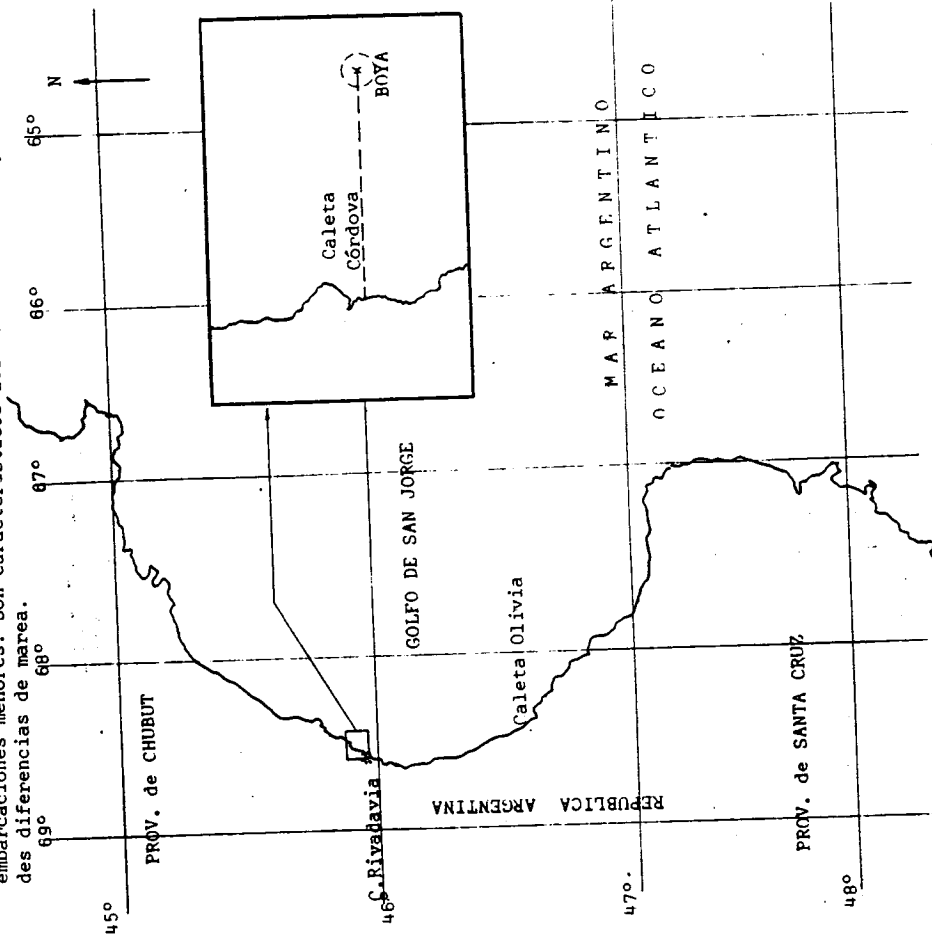
UBICACION

Esta instalación fue realizada en CALETA CORDOVA, situada en la provincia de Chubut, Argentina siendo la posición definitiva de la boya, 3,5 km. dentro del Golfo de San Jorge a Latitud Sur de 45° 45' 4" y Longitud Oeste de 67° 19' 22".

Su disposición central en la costa del Atlántico Sur Argentino y su diseño de fácil maniobra para los buques tanques, hace de este sistema hoy uno de los de mayor movimiento de los cargaderos en estas zonas australes de nuestro continente.

Caleta Cordova esta situada en las cercanías de Comodoro Rivadavia, una de las zonas petroleras por excelencia en nuestro país, con playas de tanques de almacenamiento de crudo de gran capacidad.

Es también una zona pesquera desde la cual operan buques de media altura y embarcaciones menores. Son característicos los fuertes vientos y las grandes diferencias de marea.



PREPARACION DE LA TUBERIA EN TIERRA PARA SU TENDIDO

1.- Colocación revestimiento y hormigonado de tramos de 12 metros: Esta operación se realiza fuera del área prevista para el tendido. Los tubos una vez curados, son transportados al obrador de tendido.

2.- Área de tendido:

El obrador para el tendido marino, cubre un área aproximada de 1500 m². Se ha previsto que la pista para el lanzamiento quede al centro del mismo, utilizándose un costado para la preparación y estiba de los strings de 14" y el otro para los strings de 30". Cada una de las zonas están compuestas por una línea de ensamble, soldadura y gama grafiado. Una línea de prueba de estanqueidad y de hormigonado de las juntas fue instalada para esas táreas.

3.- Preparación de los strings:

Los strings tienen una longitud aproximada de 210 a 230 metros. La operación consiste en llevar los tramos de 12 metros y posicionarlos en la línea de ensamble. Una vez soldados, por medio de los boogies de transferencia, se traslada el tramo a la línea de prueba y hormigonado de juntas; de tal manera que queda libre la primera línea y permite continuar con la preparación de otro tramo.

4.- Traslado y estiba de los strings:

Para el movimiento transversal de los strings, entre líneas y el área de estiba se ha previsto la utilización de 11 boogies de ferrocarril distanciados aproximadamente 20 metros, uno del otro.

Una vez soldados los tramos de 12 metros entre sí, el único movimiento propio a darle a la tubería es de ascenso - descenso, para permitir la carga y descarga de los boogies; con este sistema se disminuyen considerablemente los riesgos en el manejo de la tubería. Este movimiento de ascenso - descenso se ejecutó por medio de gatos hidráulicos.

El apoyo de los strings en el área de estiba se realizó sobre tacos de madera dura distanciados unos 10 metros, lo que permite lograr una adecuada presión específica sobre el terreno.

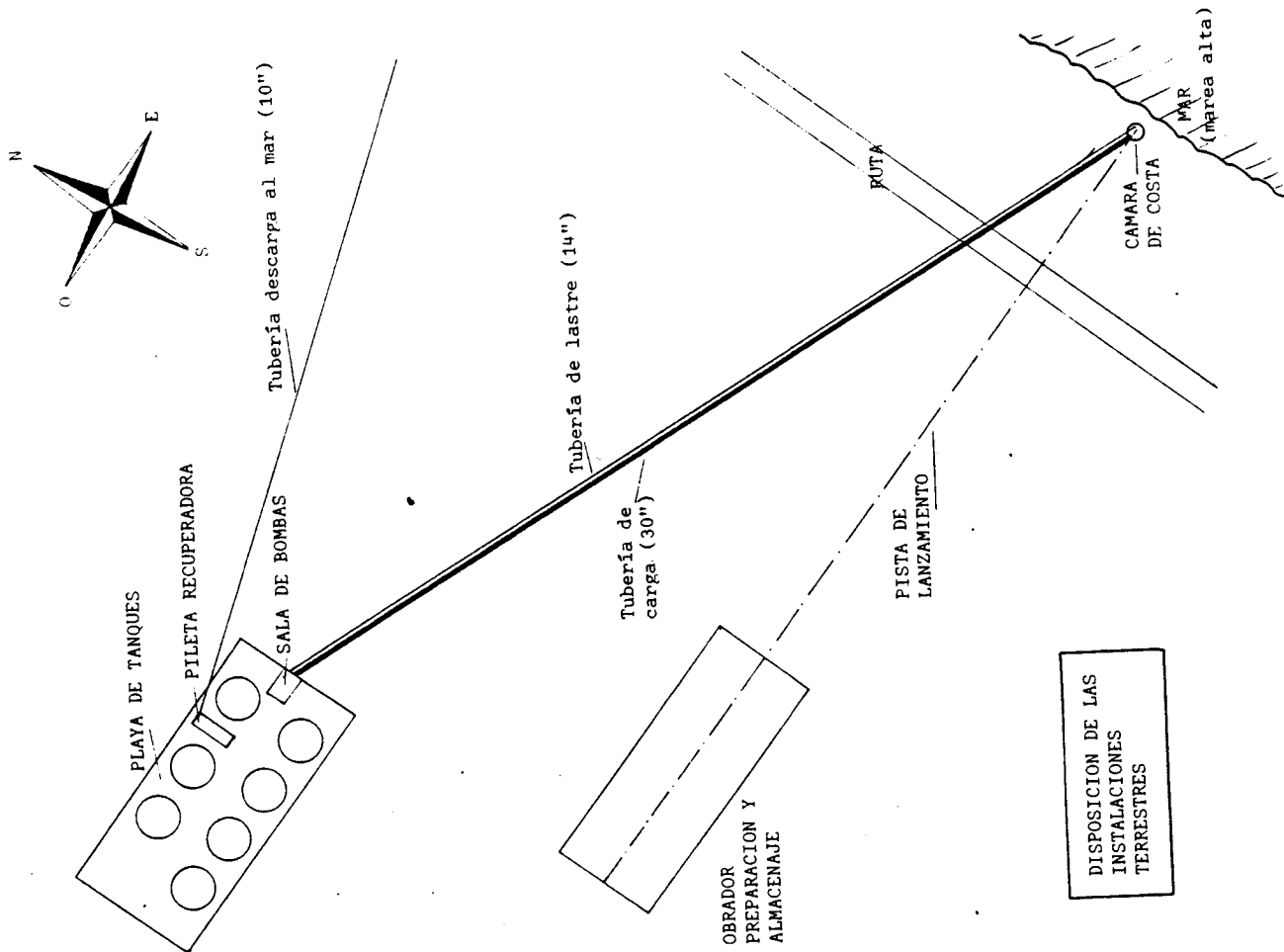
Con las longitudes previstas de cada string se obtuvieron 17 de éstos por tubería, lo que permitió disminuir el tiempo de ejecución del tendido a un mínimo compatible con el espacio disponible en la zona para la realización de los trabajos.

El movimiento de los boogies se realizó por medio de tractores y aparos manuales.

Durante la ejecución de esta maniobra se prestó especial atención a que el movimiento se realice en forma simultánea en todos los sectores de manera de no someter a la tubería a esfuerzos anormales.

5.- Transferencia a Pista de Lanzamiento:

La pista de lanzamiento está también compuesta por boogies de ferrocarril distanciados 15 metros uno del otro. La transferencia de los boogies transversales a los de la pista se realiza por medio de crickets hidráulicos, ubicados en correspondencia con los boogies transversales.



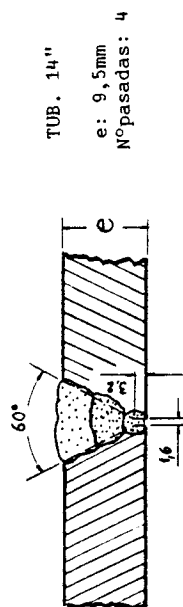
ASPECTOS DE LA SOLDADURA DE LAS TUBERIAS

Los trabajos se efectuaron en un todo de acuerdo con lo especificado en la Norma API 1104 última revisión.

1.-Proceso de soldadura:

- Tipo de junta : A tope
 - Proceso utilizado: Arco eléctrico manual
 - Material de aporte: Electrodo clasificación AWS E6010 - E7010
 - Material base: Tubería API 5 LS GR B - Bridas ASTM A 101
 - Preparación de borde: Biseles en V a 30°, cortados mecánicamente.
 - Diámetro de electrodo: Primera y segunda pasada: 3,97mm; restantes: 4,76mm
 - Intensidad y polaridad: Corriente continua polo positivo.
1° y 2° pasada: 5/32"; 130 - 160 A
Restantes: 3/16"; 140 - 180 A
 - Posición: Caño fijo; vertical descendente.
 - Tiempo entre pasadas: Sin espera entre 1° y 2°
 - Pre calentamiento: no
 - Alineación de juntas: Con alineador mecánico exterior o interior.
 - Tratamiento térmico posterior: no
 - Anillo de respaldo: no
 - Gammafado del 100 % de las soldaduras en obra.
- PRECAUCIONES: -No comenzar una pasada donde se comenzó otra anterior.
-Costuras longitudinales desfasadas 90°
-Eliminar los defectos visibles entre pasadas.
-Almacenar los electrodos a 10° de temperatura por encima de la tra. ambiente.

TUB. 30"
e: 12,7mm
N° pasadas: 5



2.-Procedimiento de Gammafía:

- Se uso una cámara de gammagrafía con telemando a distancia con capacidad de hasta 100 curies con fuente de Iridio 192.
- Se usaron pantallas intensificadoras atrás- adelante, de plomo de 100 micr.
- Entre probeta y placa se colocó una placa de plomo de 0,5 a 1mm
- El tiempo de exposición con fuente de 100 curies en su máxima actividad para cahería de 30" y 12,7mm es de 1'40" y para la de 14" y 9,5mm es de 7"
- Este procedimiento es conveniente para trabajar con espesor promedio de material entre 3/8" y 1"

DISPOSICION DE LAS
INSTALACIONES
TERRESTRES

ASPECTOS DEL TENDIDO COSTA AFUERA

1.- Principio del tendido:

La secuencia del tendido fue la siguiente: tender primero la línea de Ø 14" y posteriormente la de Ø 30", utilizando los mismos rodillos colocados en la restinga.

Cada línea fue tirada sobre el fondo lleno de aire, con un empuje negativo arreglado a 20 kgs/metro. La preparación de la cañería en tierra permite el tiro de cuatro tramos sucesivos de 880 metros cada uno, más una sección de 200 metros correspondientes a la zona de la restinga.

Estos se prepararon en la pista de lanzamiento que consiste aproximadamente de 900 metros de vías sobre las que corren bogies distanciados 15 metros uno de otro; la transferencia de éstos a la restinga, se hace utilizando rodillos distanciados cada 12 metros. Una vez realizado el tendido de la tubería de Ø 14" se la levantó y colocó al lado de los rolos sobre la restinga, en la posición definitiva.

El tiro se realizó desde el pontón, equipado con un ginche de 135 toneladas de capacidad máxima, el cual se posicionó a más de 400 metros aguas afuera de la posición del PLEM.

La longitud necesaria de cable fue del orden de 4000 metros, el mismo sistema de cableado será utilizado para las dos cañerías.

2.- Anclaje y posicionado del Pontón:

El pontón se posicionó a aproximadamente 400 metros aguas afuera de la posición del PLEM, en la misma dirección de la cañería.

El anclaje del pontón consiste en:

Anclaje propio: cuya única función es ubicar el pontón no contribuyendo al tiro

Anclaje de tiro: constituido por dos líneas de cadenas a 25 grados de 200 metros de largo, cada una con un ancla off-drill de 14 toneladas.

Las dos líneas de tiro fueron instaladas por el pontón y su posición verificada por teodolito. La posición de las anclas en el fondo fue verificada con ayuda de buzos.

Los extremos de las líneas se marcaron con boyas, a efectos de facilitar su recuperación.

Previo a la iniciación del tiro de la cañería de Ø 14", se aplicó al sistema una fuerza de 40 t., con el objeto de alinear los cables de tiro y que a su vez permitiera asegurar la penetración de las anclas en el fondo.

3.- Guinche de tiro:

El guinche de tiro es un equipo electrohidráulico que desarrolla una fuerza de tiro constante regulable por medio del sistema hidráulico.

La capacidad máxima de tiro es de 135 toneladas y la velocidad de tiro al 70% de su capacidad es del orden de los 3 metros/minuto.

La máquina viene provista además con un tambor que recibe el cable a medida que es tirada la tubería. Este tambor no es portante, su función es la de almacenar el cable de tiro.

El guinche viene equipado con un cable de Ø 30" y 1100 metros de longitud la que permite tirar sin interrupción de la maniobra los tramos previstos de 900 metros de longitud cada uno.

4.- Cable de tiro:

El cable de tiro de la máquina de tiro "pulling machine" es un cable de Ø 30". Este cable se usó en todos los tiros, dado que los "grips" de la máquina están adaptados solamente a este diámetro. La longitud del mismo es de 1100 metros.

Los diámetros de los cables de conexión hasta el cabezal previsto en el extremo de la tubería son proporcionales al esfuerzo máximo esperado para cada tiro.

El cable total está compuesto por 5 secciones:

- Una sección de 1100 metros incorporada en la "pulling machine" y que es utilizada en todos los tiros.
- 3 secciones de 880 m, que sirven de conexión durante los tres primeros tiros.
- Una sección de 400 m, que sirve de conexión para el último tiro correspondiente a la distancia entre el pontón de tiro y PLEM.

Los cables seleccionados son los siguientes:

Tiro máx. correspond.	Ø cable	longitud	Fuerza rotura	Fuerza calculada
1º tiro	1 3/4"	880 m	125 T	40
1-2º tiro	2"	880 m	155 T	50
1-2-3º tiro	2 1/4"	880 m	200 T	65
1-2-3-4º tiro	2 1/2"	400 m	270 T	85
Cable máquina	3"	1100 m	380 T	85

5.- Instalación y flotación de los cables:

El cable conectado al cabezal de tiro (Ø 2 y 1/2" y 400 m de largo) es equipado con flotadores de 8 toneladas de capacidad total que permiten al cable estar siempre alineado entre el cabezal y el primer pontón de apoyo ubicado en la conexión con el cable de 2 1/4" Ø; este pontón sirve para alinear exactamente el cable en la dirección de la boya, con ayuda de un remolcador, antes o durante el tendido, en caso que se produzca una deflexión en el cable. Los otros pontones, ubicados entre tramos de cables, ayudan a flotar los mismos y disminuir la fuerza de tracción en el barco, permitiendo hacer las sucesivas conexiones con el cable de tiro de 3", directamente en la superficie.

6.- Fuerzas de tracción durante el tendido:

6.1 Pista de lanzamiento:

La pista de lanzamiento está compuesta por dos sistemas:

- Una de 880 metros de largo sobre bogie desde la altura de 24m. a la altura de 12 m., con una pendiente media de 1,4%.
- Otra en la restinga, de 220 m. de largo sobre rolos, desde la altura de 12m. hasta la altura de 1 m., con una pendiente media de 5%.

Los coeficientes de rozamiento máximos son estimados en:

- Para los bogies: estático = 2,4%
dinámico = 1%
- Para los rolos: estático = 8%
dinámico = 4%

Incluyendo el efecto de la pendiente, los coeficientes estimados de rozamiento son los siguientes:

Tracción longitudinal

- Para los bogies: estático = 1%
- dinámico = 0
- Para los rolos : estático = 3%
- dinámico = 0

El peso de la cañería sobre la pista de lanzamiento es de 600 toneladas sobre los bogies y 140 toneladas sobre los rolos.

Las fuerzas necesarias para tirar la cañería sobre la pista son entonces:

- Al iniciar un tiro (con toda la cañería sobre la pista y restinga) estático = $600 \times 0,01 + 140 \times 0,03 = 10 \text{ T}$
- Al final del tiro, sobre la restinga: $140 \times 0,03 = 4 \text{ T}$.

Ya puesto en movimiento el conjunto, se puede asumir que la pendiente es constante; vamos a tener una aceleración, que obliga a prever un sistema que sirva de retenida.

Se hace notar que las fuerzas precedentes fueron calculadas para el caso de baja mar (altura de marea : 1 metro); en caso de pleamar, las fuerzas disminuyen por la reducción del peso de la cañerías sobre los rolos.

6.2 Cañería sobre el fondo:

Con una altura de marea de 1 metro, la cañería apoyada directamente sobre el fondo está completamente sumergida; el peso de la cañería es entonces de 20 kgs./metro (flotab. negativa). Los coeficientes de resistencia a la tracción de la cañería sobre el fondo se toman

- 0,7 dinámico
- 1,1 estático

Evaluación de los coeficientes de fricción cañería/suelo

Desde un punto de vista práctico es conveniente asumir para los cálculos entre tubería y terreno, la fórmula dada por Coulomb y Morin

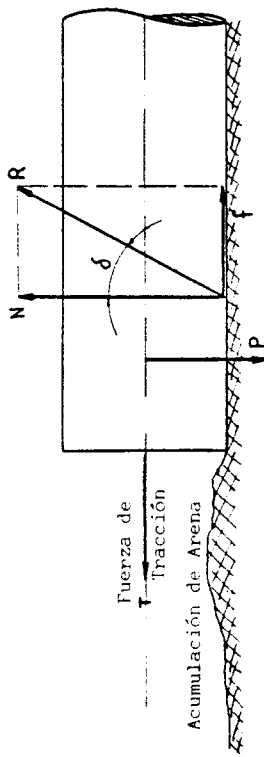
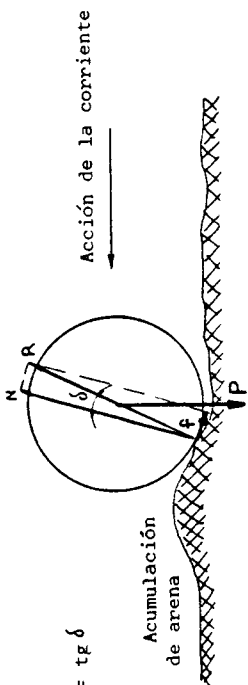
$$T = f \cdot p$$

Donde:

- T = Fuerzas de tracción laterales o longitudinales
- f = Coeficiente de fricción determinados por experiencia
- p = Peso de la tubería

Tracción lateral

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



Como regla general se define al coeficiente de rozamiento lateral o longitudinal como:

$$f = \operatorname{tg} \delta = \frac{T}{P}$$

En fondos de arena el coeficiente de fricción depende de:

- Naturaleza y densidad de la arena (ángulo de fricción interna)
- Estado de la superficie del recubrimiento de la cañería.

Por otra parte, es necesario distinguir un coeficiente dinámico (cañería en movimiento) y un coeficiente estático necesario para romper la acumulación de arena que se produce en el frente y los costados de la cañería.

Coeficiente f. estático > f. dinámico

De los estudios de suelos realizados; se dedujeron los siguientes coeficientes:

Coeficiente	Tipo de fondo	Coef. estático	Coef. dinámico
Longitudinal (tracción)	Restinga	0,6	0,5
	Fondo arena "silt"	1,1	0,7
Lateral (acción de corriente)	Restinga	0,7	0,6
	Fondo arena "silt"	1,5	0,8 f 1

La longitud de cañería sobre el fondo es de 880 m. por cada tiro, hasta la longitud final de 3500 metros más 190 metros sobre los rolos en la restinga.

Las fuerzas de tiro correspondiente a cada sección fueron:

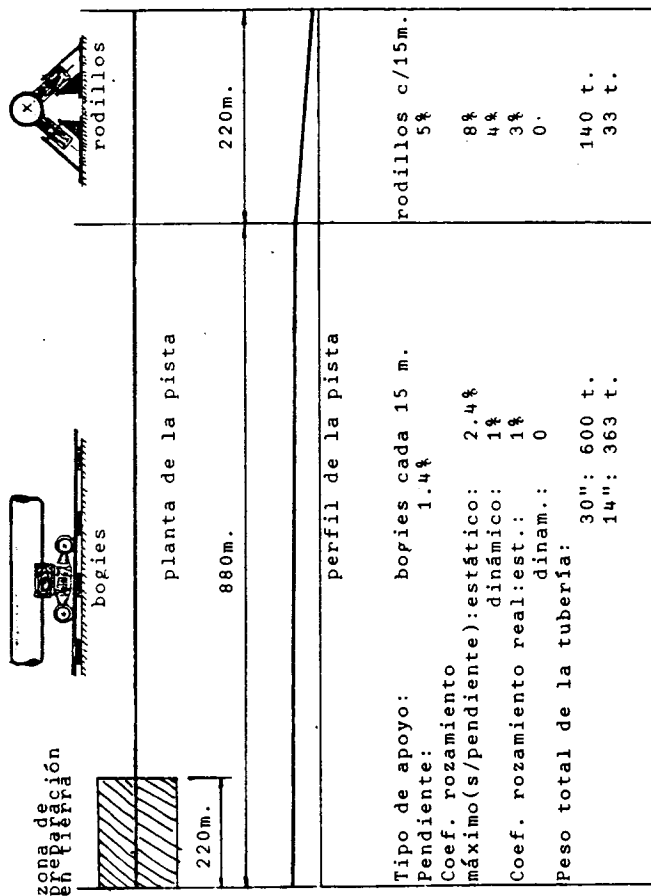
- 880 m x 0,02 x 0,7 = 12,5 T
- 880 m x 0,02 x 1,1 = 19,5 T

y para el último tiro:

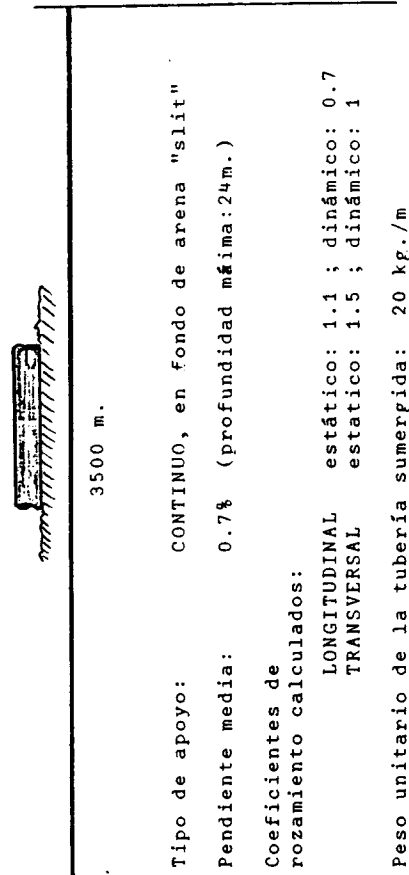
- 3500 x 0,020 x 0,7 = 49 T dinámico
- 3500 x 0,020 x 1,1 = 77 T estático

ESQUEMA DE LANZAMIENTO, PESOS, PENDIENTES Y ROZAMIENTOS

1-) ZONA DE TENDIDO TERRESTRE



2-) ZONA DE TENDIDO MARINO (tubería totalmente sumergida)



6.3 Estudio de fuerzas debido a olas y corrientes sobre las tuberías:

A. Efecto de olas

El tendido de las cañerías es una operación que debe realizarse con condiciones de mar favorables (olas menores de 2 m.). Este efecto se ha estudiado siguiendo la teoría de YAMAMOTO, para la selección de los coeficientes a aplicar; el efecto que produce sobre la tubería pudo desprenderse para las olas consideradas durante el tendido.

B. Efecto de corrientes

La acción de una corriente perpendicular al eje del tubo genera sobre el mismo fuerzas hidrodinámicas. Los componentes verticales y horizontales de estas fuerzas se calcularon por:

$$FL = \frac{1}{2} f c l S x v^2 \text{ en Kg/m}$$

$$FD = \frac{1}{2} f c d S x v^2 \text{ en Kg/m}$$

f = densidad agua mar en Kg/m³

S = sección cilindro por metro

v = velocidad de la corriente en m/seg

cl/cd = coeficientes en función del Re y de la viscosidad cinemática del fluido

Los valores de fuerzas calculadas están volcadas en la siguiente tabla:

	Velocidad en nudos	Re	CD	FD (Kg/m)	CL	FL (Kg/m)
Tubería Ø 30"	1	3,7x10 ⁵	0,85	10,39	0,5	6,10
Tubería Ø 14"	1	1,7x10 ⁵	1,2	6,55	0,5	2,8

Ya que los valores de velocidad de corriente observadas están por debajo de un nudo, puede afirmarse que desde el punto de vista de esfuerzos sobre la tubería, estos son despreciables.

C. Estabilidad

Analizamos, ahora, la estabilidad de la tubería durante el tendido.

Para asegurar la estabilidad horizontal se debe satisfacer la siguiente relación:

$$F = f(p - FL) > FD$$

Donde: f = coeficiente fricción tubería/suelo lateral=0,8

p = Peso del tubo sumergido lleno de aire

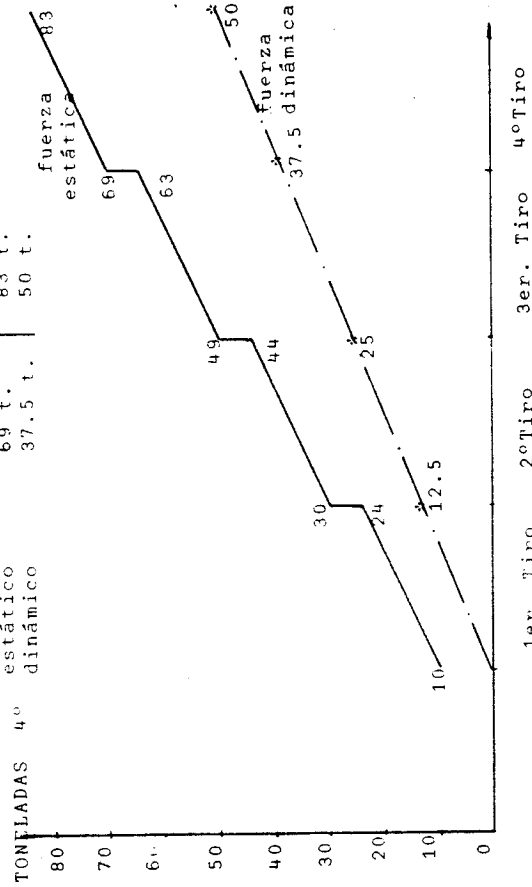
FL = Fuerza vertical = (lift)

FD = Fuerza horizontal

La siguiente tabla resume los valores obtenidos

FUERZAS TOTALES DE TRACCION SOBRE LA CAÑERÍA: Sumando los valores calculados, se obtienen los totales correspondientes a cada tiro sobre el cabezal de tiro.

	Comienzo	Fin
1er. TIRO	estático 10 t	24 t. 12.5 t.
2º TIRO	estático 30 t. dinámico 12.5 t.	44 t. 25 t.
3er. TIRO	estático 49 t. dinámico 25 t.	63 t. 37.5 t.
TONELADAS 4º	estático 69 t. dinámico 37.5 t.	83 t. 50 t.



FUERZAS TOTALES EN EL PONTÓN:

A las fuerzas máximas sobre las cañerías se debe sumar las correspondientes a la fricción del cable sobre el fondo.

Se calcula que, con el sistema de flotación de los cables y teniendo en cuenta la catenaria conformada, el peso del cable sobre el fondo adiciona un esfuerzo sobre el pontón dado en la tabla siguiente:

1er. Tiro: 15t.
2º Tiro: 6 t.
3º y 4º Tiro: 0 (todo el cable arriba)

TUBERÍA	f (P - FL)	FB (Kg/m)	Velocidad - nudos
Ø 30"	11,10	3,66	0,5
P=20kg/m	"	10,39	1,0
"	"	8,26	1,5
Ø 14"	13,80	1,65	0,5
P=20,31kg/m	"	6,55	1,0
"	"	12,38	1,5

El exámen de la tabla muestra que las tuberías sumergidas son estables para un cierto período, hasta una corriente transversal de 1,5 nudos, valor que no se encuentra en el sitio de Caleta Cordova.
Para asegurar la estabilidad vertical $P > F_v$; situación que se cumple en todos los casos.

7.- Operaciones de tendido:

- Tendido del primer tramo:

El tramo inicial de 200 metros se instala en la restinga con ayuda de tractores. El primer tramo de 880 metros es ensamblado en la pista de lanzamiento y conectado al inicial de 200 metros.

El cabezal de tiro se conecta directamente sobre la cañería, en la extremidad de la restinga, y luego se conecta el cable de tiro a éste. El guinche de retenida está conectado en la otra extremidad.

El tendido del primer tramo se hace con una fuerza de freno inicial del guinche de retenida de 10 T para evitar que la cañería avance por golpes.

El tendido se para cuando la extremidad del tubo llegue a la zona de conexión en tierra.

- Tendido del segundo tramo

a. En tierra: Los 4 tramos de 220 metros son transferidos a la pista de lanzamiento y colocados sucesivamente en posición.
Las 4 soldaduras de conexión se hacen al mismo tiempo controlando la soldadura por gammagrafiado.

b. En el mar: El cable de tracción de 3 pulgadas es tirado desde el pontón, instalando los flotadores a medida que se desenrolla, por el remolcador hasta poner las conexiones directamente en el pontón de apoyo en la extremidad de la otra sección del cable.

Se empieza el segundo tiro, sin más necesidad del guinche de retención.

Los otros dos tramos son instalados sucesivamente de la misma forma.

PRUEBAS DE PRESION DE LAS CAÑERIAS

1. General

1. Después de montado el sistema de cañerías se realiza una prueba de presión para verificar posibles pérdidas.
2. En todos los casos, la prueba se realiza por presión de agua (prueba hidrostática).
3. No se debe utilizar agua salada, o cualquier otra agua agresiva, a fin de evitar su acción corrosiva.
4. Para las cañerías con temperaturas de diseño inferiores a 340°C la presión de prueba es de acuerdo a las ANSI:

$$P_t = 1,5P$$

Según se detalla a continuación

$$\text{Líneas aspiración DN 16"} : P_t = 1,5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Líneas aspiración DN 30" y DN 40"} : P_t = 4,5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Líneas de impulsión DN 30"} : P_t = 19 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Línea de lastre} : P_t = 6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

5. El menor valor en pruebas de cañerías es 1 Kg/cm² aplicable incluso a las conducciones que trabajan sin presión o con vacío.

2. Preparación y desarrollo de las pruebas

1. Las siguientes providencias se toman antes de las pruebas de presión:

- a. Todo el sistema de cañerías es subdividido en secciones por medio de bridas ciegas o placas, de forma tal que cada sección tenga la misma presión de prueba. Esta subdivisión también facilita la propia ejecución de la prueba hidrostática.
 - b. Las placas, orificios y todas otras restricciones al flujo son removidas.
 - c. Todas las válvulas, inclusive las de control y de retención, son abiertas y mantenidas en esa posición.
 - d. Las válvulas de bloqueo de los ramales para los instrumentos se cierran.
 - e. Los instrumentos y otros equipamientos que no puedan ser sometidos a la presión de prueba son retirados o sustituidos por "carreteles" de caño.
 - f. Las válvulas de seguridad y alivio, retiradas y sustituidas por bridas ciegas o tapones.
2. Antes de completar el llenado de las cañerías con agua, se purga completamente el aire del sistema abriéndose las válvulas de venteo. También se realiza una inspección de todo el sistema de soportes de las cañerías, para verificar su comportamiento con el peso del agua, que por ser frecuentemente más pesada que el fluido circulante, constituye la mayor carga estática que puede actuar sobre los soportes. La subida de presión debe ser lenta para que pueda haber un buen control de nivel de presión.

En pruebas hidráulicas, la presión se mantiene en su valor máximo por

lo menos 1 (una) hora durante la cual toda la cañería es cuidadosamente examinada.

Durante la prueba se presta atención para evitar que el agua penetre en equipos donde pueda causar daños o no pueda ser eficientemente drenada.

3. Una vez realizada la prueba hidrostática se procede al vaciado de la cañería por sus puntos más bajos para lo cual deberán preverse las pendientes necesarias en el sistema y luego se soplan con aire a fin de eliminar los restos de agua.

INSTALACION DEL PLEM

1. Colocación del PLEM

Terminado el tendido de ambas cañerías, la de $\varnothing 14"$ se acerca, con ayuda de buzos y utilizando aparejos manuales, a 1,80 metros aproximadamente de la tubería $\varnothing 30"$ y con ayuda del pontón, se levanta el extremo de la tubería de $\varnothing 30"$ 10 a 15 cm. y se apoya sobre bol-
sas de arena.

El PLEM es izado por la grúa y bajado hasta el fondo; a lo largo de una línea de guía conectada directamente a la cañería. Una vez en el fondo se procede al plantillado de la distancia entre bridas. La distancia óptima para la conexión con pieza de ajuste es del orden de los 3 a 6 me-
tros.

2. Conexión de las tuberías - Plantillado

La conexión de las tuberías se rea-
liza por medio de una pieza de ajuste fabricada de las medidas necesas -
rias, previo plantillado.

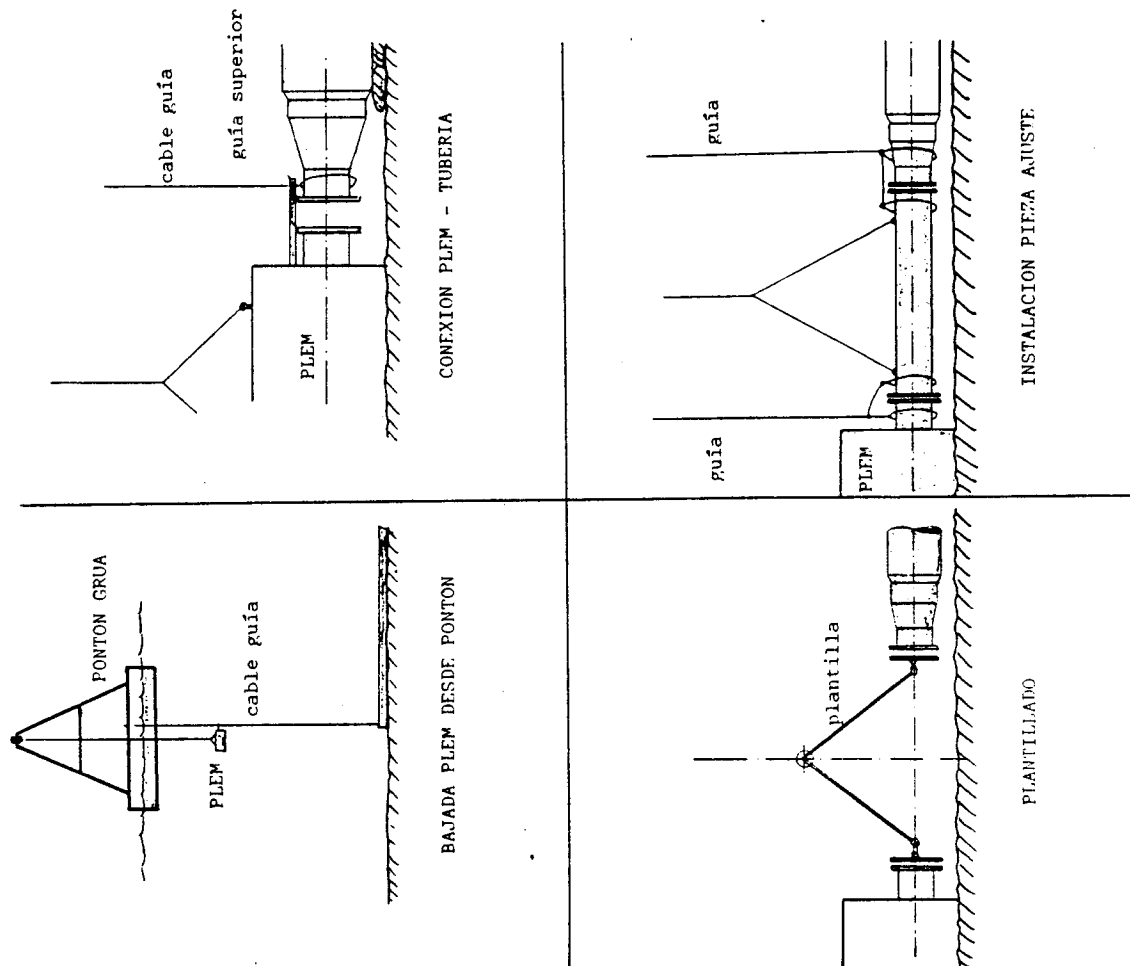
La plantilla consiste en dos bridas conectadas por medio de un sistema articulado que se puede adaptar en posición y longitud, y bloquear en cualquier configuración.

La plantilla se instala en el fondo con ayuda de los buzos entre las dos bridas a conectar y una vez lograda la configuración, se bloquea la arti-
culación y se marca con un punto de soldadura. Se desconectan las bridas y se iza la plantilla a bordo para proceder a
realizar la pieza de ajuste.

3. Instalación de la pieza de ajuste

Construida esta pieza se procede al ga-
magrado de soldadura y colocación de protección anticorrosiva. La pieza de ajuste se desciende hasta el fondo, guiada por medio de dos líneas directamente conectadas a las bridas de $\varnothing 20"$ y $12"$.

GRAFICOS EXPLICATIVOS DE INSTALACION PLEM



INSTALACION Y TENSIONADO DE ANCLAS Y CADENAS

1. Instalación de las líneas de fondeo
Las líneas de fondeo son instaladas sucesivamente con sus anclas y tensionadas de a dos desde el pontón.

1.1. Preparación

- Las anclas y los grilletes de cadenas son cargados y preparados a bordo del pontón, las cuales están listas para ser izadas con la grúa. Los grilletes de cadena se alinean y conectan a lo largo de la cubierta del pontón.
- El sitio se marca de la siguiente manera:
 - a. 4 boyas tipo "lápiz" para los anclajes del pontón.
 - b. 2 boyas tipo "lápiz" en la posición de las 2 anclas; esta posición está calculada tomando en cuenta el garreo durante el tensionado, es decir aproximadamente unos diez metros más allá de la posición teórica desde la boya.
 - c. 1 boya tipo "lápiz" en la posición de la boya.

1.2. Instalación de las anclas

- El barco se posiciona en la vertical de la posición de las anclas.
- Cada ancla se conecta al primer grillete de cadena e instala de la siguiente manera:
 - El ancla es izada por medio de un cable de izado hasta la parte superior de la grúa; otra línea desde un guinche del pontón se asegura al extremo del grillete a conectar al ancla; una vez realizada la conexión se deja bajar el ancla controlando la operación por medio de los dos guinchos, hasta su posición horizontal en el fondo.
 - Después que las dos anclas están en posición con su grillete de cadena, se conectan los mismos junto a un tercer grillete que será el primero de la línea de fondeo de la boya.

1.3. Instalación de la línea de fondeo

- Los grilletes de cadenas son conectados a bordo del pontón e instalados a medida que éste se desplaza utilizando su anclaje propio.
- El primer grillete se instala con una tensión liviana y controlando precisamente la posición del pontón por teodolito.
- Los 5 grilletes siguientes son instalados con una tensión mayor y también controlando la posición del pontón.
- Los últimos grilletes son instalados en dirección de la boya sin más control de posición, pues se izarán y se alinearán durante el tendido de las anclas.
- El último grillete se baja cerca de la boya a una distancia de 20 metros del PLEM en dirección de las anclas correspondientes.
- Se fija un cable de izado al último grillete y se pone una boya con indicación del número de la línea.

2. Tensionado de las líneas de fondeo

2.1. Preparación

Una vez que dos líneas opuestas son instaladas se hace el tensionado de las mismas. El pontón está ubicado arriba del PLEM y tiene a bordo el último grillete de la línea que instaló última. Se cobra el extremo de la otra línea por detrás del pontón con ayuda del cable de izado, que marca la posición de la cadena. Las dos líneas son así aseguradas a bordo del pontón y se conectan a los dos guinchos de tracción para lograr una tensión próxima a las 50 toneladas.

Se arreglan las posiciones de las cadenas y del pontón de manera que el centro del pontón quede ubicado sobre el PLEM.

Una vez que las cadenas no se mueven a la tensión del guinche, se instala el sistema de tensión. Una cadena debe ser fijada al pontón y los dos aparejos de 200 T. son conectados a las cadenas.

2.2. Tensionado

La tensión se aplica sobre los aparejos y el valor de la tensión total se lee por cálculo tomando la tensión del guinche de tiro.

Las líneas de anclaje propias del pontón deben ser aflojadas de manera tal que el pontón mantenga su posición por las dos líneas de cadenas.

La tensión se lleva hasta la nominal del test y las posiciones de las anclas, marcadas por boyas tipo "lápiz" son verificadas por teodolitos.

La tensión se mantiene por media hora, durante la cual las dos cadenas no deben sufrir ningún movimiento.

2.3. Antes de poner las cadenas en el fondo, la posición del pontón se verifica por teodolitos, a efectos de controlar que no haya corrimientos del mismo durante esta operación.

La tensión se disminuye de manera que las cadenas se ponen derechas en el fondo de línea con la boya. Una vez que la tensión disminuyó el sobrante de cada cadena se pone en el fondo en una pila a una distancia de aproximadamente 20 metros del PLEM.

MANGUERAS SUBMARINAS Y FLOTANTES

1. Mangueras submarinas

Cada línea de manguera submarina es ensamblada a bordo del pontón antes de la instalación en el fondo. Primero se conectan al PLEM y luego a la boya.

1.1. Conexión

Se coloca una línea de gufa fijada al PLEM y pasante a través de los agujeros de la brida del mismo y del primer tramo de manguera.

El otro extremo de la manguera es izado por la grúa y luego se desliza la manguera a lo largo de la línea de guía, la cual se fija a un tambor de guinche, por medio del cual se le da tensión.

Posteriormente se conecta la manguera con la brida de la boya la cual debe ser giratoria para evitar torsión en la manguera durante la instalación.

1.2. Configuración de las mangueras

Una vez que las dos mangueras están en su posición, se logra la configuración prevista en el diseño. Para ello se mide el perfil en un plano vertical pasante por las mangueras.

Se mide la distancia de las bridas del PLEM y la boya hasta puntos fijos de la manguera; p.e.: bridas intermedias; flotadores, como así también la distancia entre las dos bridas del PLEM y de la boya. Con estas mediciones se traza el perfil por triangulación.

Las medidas del perfil se deben hacer a Pleamar o Bajamar y con condiciones de mar buenas, para que las mismas no sufran distorsiones. Una vez que el perfil está medido y confirmado, las eventuales modificaciones se hacen por adición o substracción de flotadores.

Después de cada cambio de flotación, se debe esperar por lo menos 24 hs. para realizar nuevas mediciones a efectos de que las mangueras tomen su nueva configuración.

2. Mangueras Flotantes

La instalación de mangueras flotantes se hizo al final de la obra cuando el terminal se consideró listo para el servicio, de manera de evitar que se dañen las mangueras durante el trabajo.

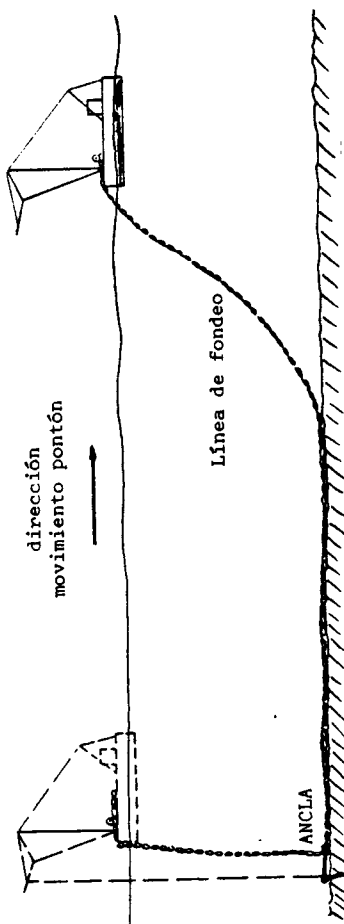
La línea de manguera flotante fue preensamblada en un muelle cercano y remolcada hasta el sitio al tiempo de la conexión.

El primer tramo del lado de la boya no fue preensamblado con las otras sino que se conectó directamente a la boya con ayuda de los buzos.

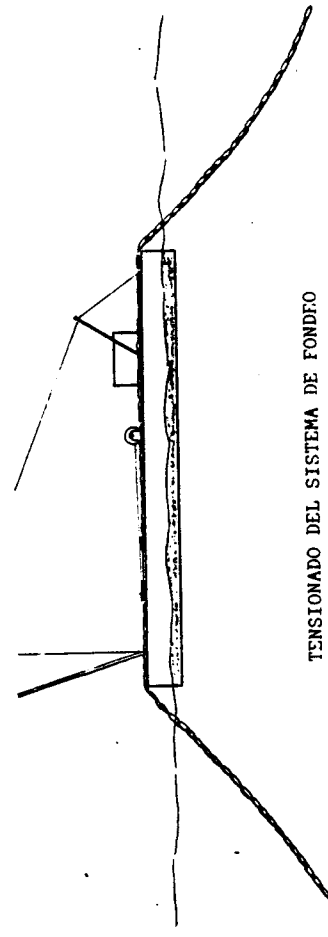
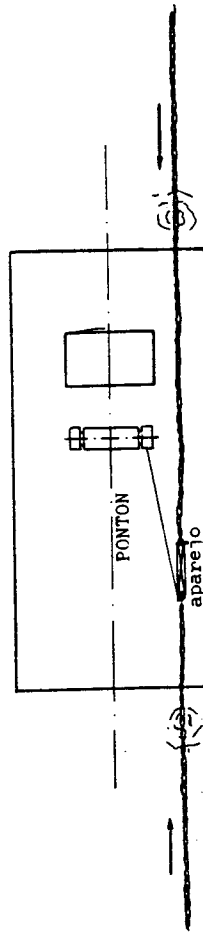
La conexión de la línea de mangueras se hace con aparejos de cables y durante la operación, el pontón permanece al lado de las mangueras para mantener la alineación en las mismas y como apoyo de la maniobra.

GRAFICOS EXPLICATIVOS DE LA INSTALACION Y TENSIONADO

DE LAS ANCLAS Y CADENAS



TENDIDO EN EL FONDO DE CADENAS



TENSIONADO DEL SISTEMA DE FONDEO

SECUENCIAS DE LA INSTALACION DE LAS MANGUERAS SUBMARINAS

INSTALACION DE LA BOYA

1. Amarre de la Boya

Para el amarre de las cadenas a la boya, el pontón fue posicionado con su campo de anclas correspondiente, muy próximo a la posición del PLEM. Dos líneas de fondeo de la boya, directamente opuestas, se conectaron por medio de cables, con el apoyo de un buzo, a dos guinchos del pontón y luego izadas hasta la superficie.

La boya se acerca al pontón y por medio de eslingas se conectan las cadenas a la misma; luego se aflojan y desconectan los cables a guinchos del pontón; de tal forma las dos cadenas quedan ya ligadas a la boya e independientes del pontón.

Cada cadena se conecta a un cable de la grúa, pasado previamente por el escobén correspondiente de la misma en la boya, y luego es izada y fijada por el estopor, la operación se repite luego con la otra cadena. Se repite el trabajo para las otras dos cadenas hasta que las cuatro queden fijadas en sus correspondientes estopores.

2. Posicionado definitivo de la boya:

Una vez que la misma está amarrada, se procede al posicionado exacto y a la verificación de las tensiones de las cadenas.

En el ajuste de las cadenas debe tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

- El centro de la boya debe estar comprendido en un círculo de diámetro no mayor de un metro referido a la vertical que pasa por el centro del PLEM.

- Los ángulos de cadenas deben ser todos iguales a lo especificado con una tolerancia menor de 4°grados.

Para hacer el ajuste se toma en consideración:

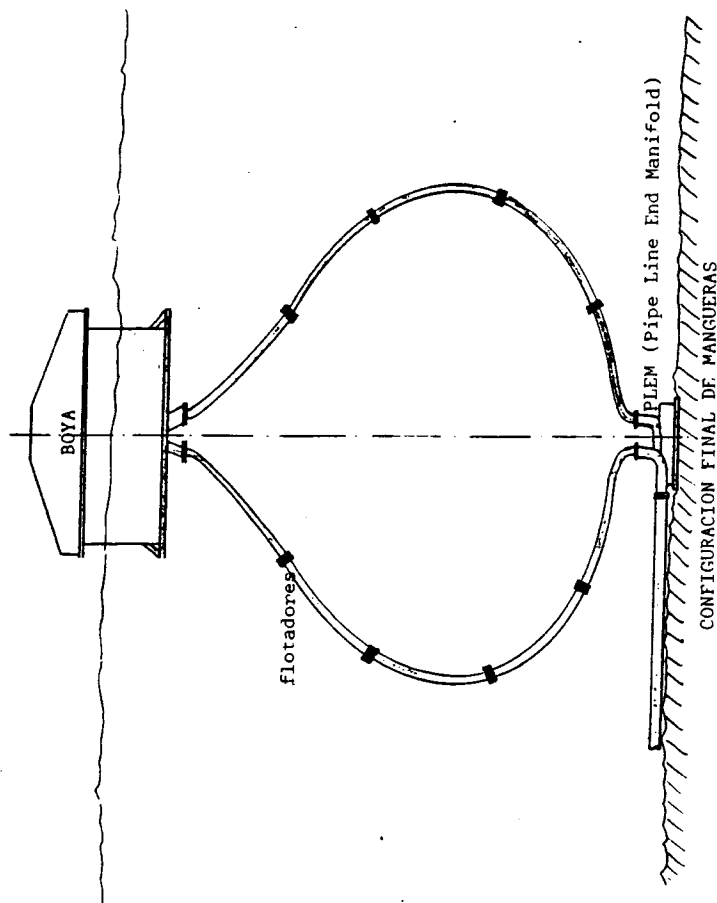
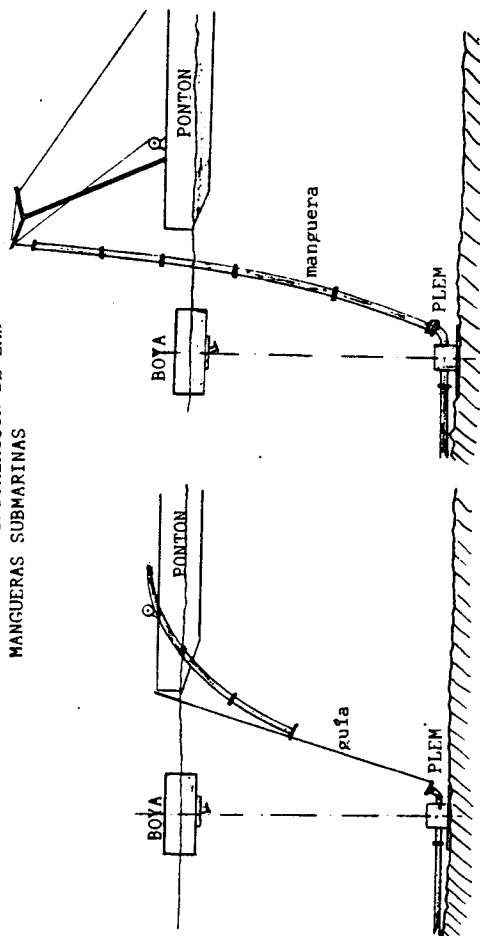
- La posición de la boya y el ángulo que forman las cadenas; con estos datos se calcula el número de eslabones que debe moverse cada una; una vez realizado el movimiento se toman los nuevos valores y se procede de la misma forma hasta obtener el ajuste final.

La posición de la boya se tomó con la ayuda de una plomada instalada debajo de la misma, llegando a unos 50 cm. del PLEM. En el centro del PLEM se instaló un boyarín con 1 metro de alambre; la distancia entre estos se tomó con ayuda de un buzo.

Todas las medidas de posiciones y de ángulos de cadenas se realizaron en Pleamar o Bajamar para que la variación de mareas no influyera en las condiciones.

Para cada medición debe registrarse lo más exacto posible la distancia entre PLEM y Boya.

El posicionamiento inicial de la boya no requiere una condición de mar determinada; el ajuste final de la misma debe realizarse con condiciones de mar y viento favorables para que la misma no tenga movimientos propios mayores de 50 cm..



MANTENIMIENTO DE LA TERMINAL

Semestralmente

1. Revisar la operación de las luces de navegación y sirenas de niebla.
2. Asegurarse de que todas las escotillas y puertas estén cerradas y que el conjunto rotativo no esté obstruido.

Semanalmente o antes de cada operación

1. Inspeccionar todos los conjuntos de poleas y sus bulones de montaje. Lubricar todos los conjuntos de poleas, sondeando la grasa hasta observar que se haya eliminado de las obturaciones de cada polea.
2. Revisar las uniones de los brazos de la cañería de expansión y todas las bridas de unión de la cañería para verificar si existen pérdidas. Apretar los bulones de las bridas o reemplazar las juntas, de ser necesario, para parar las pérdidas.
3. Revisar brazos y agarraderas.
4. Revisar operación de todas las válvulas de carga.
5. Revisar los pernos pasantes del brazo conector y las juntas entre los brazos rotativos por desgaste, lubricar y ajustar bulones de ser necesario.
6. Inspeccionar el exterior de las mangueras flotantes y el conjunto de cables flotantes por si hay desgaste, corrosión o daño.
7. Revisar las uniones de mangueras flotantes y lubricar si es necesario.

Mensualmente

1. Revisar todas las cajas de baterías para que su capacidad de voltaje sea la correcta.
2. Inspeccionar la vía que no esté dañada ni excesivamente desgastada y engrasar.
3. Revisar los bulones de las uniones del conjunto de vías para ajustar los. Revisar el conjunto de poleas por si hay señales de inusual o excesivo desgaste. Revisar las poleas para su correcto recorrido.
4. Lubricar todos los pernos pasantes del brazo conector.
5. Inspeccionar los compartimientos de la boya para licuefacción o condensación y sondear si es necesario.
6. Revisar la operación de todas las puertas estancas al agua y tapas. Lubricar las bisagras y llaves y cambiar las empaquetaduras si fuera necesario.
7. Lubricar el guinche de tensionado de cadenas.
8. Revisar el movimiento vertical a través de las juntas de expansión para asegurar que las máximas tolerancias no se excedan.

Trimestralmente

1. Inspeccionar el casco de la boya y el conjunto rotante por cualquier señal de debilidad estructural o daño.
2. Revisar las superficies pintadas y repararlas si fuera necesario.
3. Los buzos revisarán la parte sumergida del casco de la boya, las mangueras inferiores de la boya y el PLEM por si hay daño.

Semestralmente

1. Chequear con buzos los anodos del casco de la boya y reemplazar los deteriorados.
2. Inspeccionar con buzos las cadenas y anclas.
3. Inspeccionar cables y guinches y lubricar.

OPERACION DEL SISTEMA

Las condiciones de diseño son:

Profundidad	: 30 m.
Diferencia de marea	: 7 m.
Velocidad de viento	: 50 nudos
Altura máx. de ola	: 6 m.
Velocidad de corriente	: 1 nudo

Para estas condiciones se calculan las fuerzas de amarre de buques tanques de hasta 60.000 DWT. Si el terminal se usa por buques mayores deberá tomarse cuidado de no exceder las fuerzas de amarre admisibles y estar seguros que la profundidad es la adecuada en todo el radio de acción de tal buque ya que se acomodará en toda la zona circundante. Debería también aumentarse la longitud de las mangueras flotantes.

Mientras está amarrado el buque tanque puede cargar crudo y descargar las tres de sus tanques, estando sujeto a la boya sólo por las líneas de amarre y girando alrededor de ella de manera de presentar proa al viento y la corriente, en su posición más cómoda y más segura a la vez.

TAREAS DE OPERACION

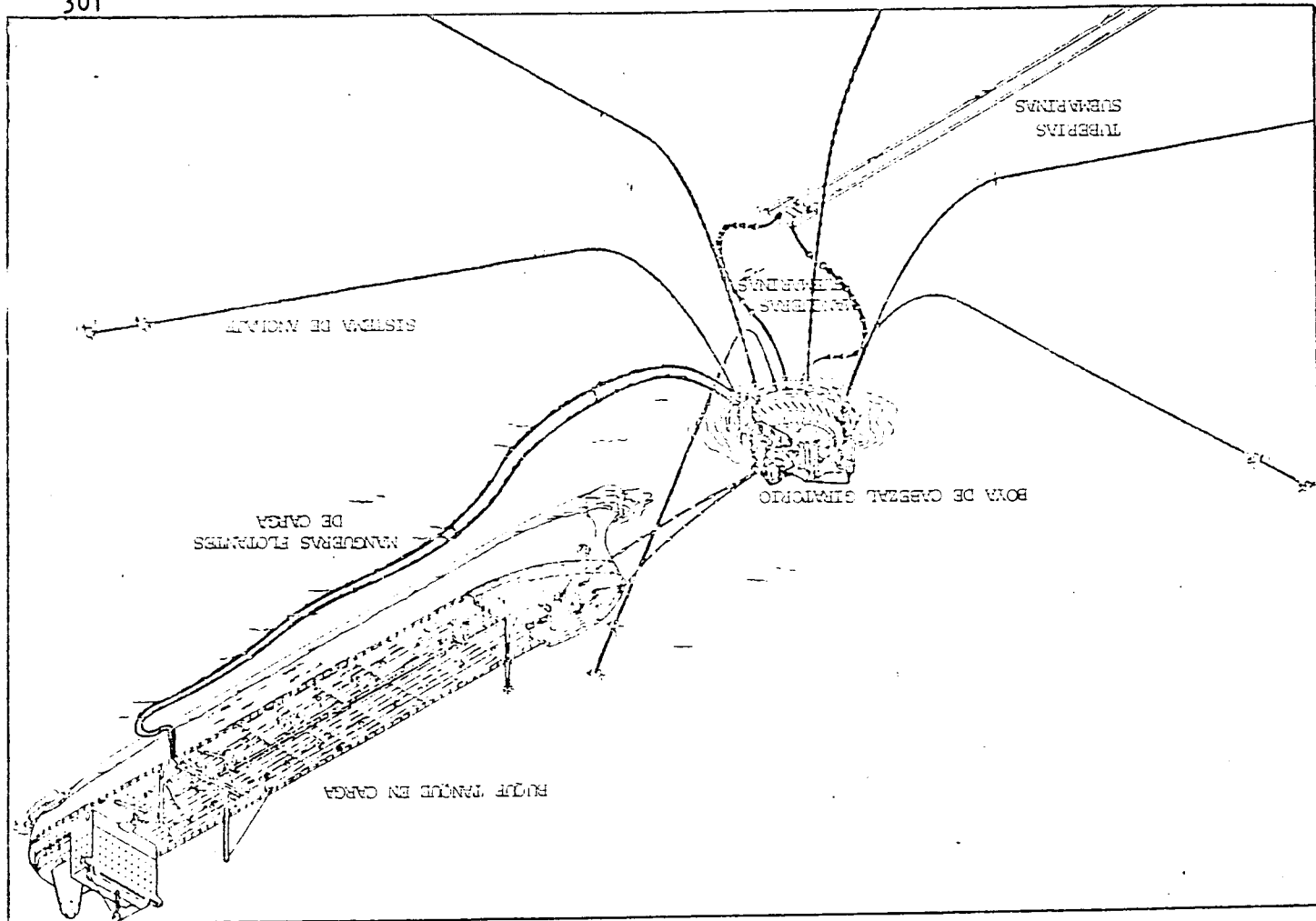
COMUNICACION:

Previo al arribo del buque tanque se realiza contacto radial para conocer la siguiente información:

- medidas del manifold de carga del buque para evitar problemas ya que la manguera flotante de la boya termina en breida de acople rápido ANSI 12".
- banda por la cual operará el buque durante la carga.

AMARRE:

- Debe elegirse la óptima y más segura dirección de aproximación la cual es de proa al viento y al mar.
- Las anclas del buque sólo se deben usar ante una emergencia extrema y nunca en la zona de las tuberías submarinas.
- Es importante la ubicación de las mangueras flotantes cuya longitud es de aproximadamente 200m., ya que su posición será regida por la corriente más que por el viento.
- Elegida la ruta óptima de aproximación y a una distancia de aproximadamente 400 m. los amarradores conectarán un cabo de amarre de polipropileno al cabo flotante.
- El buque debe siempre mantenerse a no menos de 50 m. de la boya y esta amarrado por cabos de polipropileno de 14" de mena que resisten una carga de 145 T. de rotura cada uno.



- Amarrado de esta forma el buque rotará libremente alrededor de la boya tal como se lo mande el viento y la corriente. Los motores del buque se mantendrán "stand by" y serán usados en emergencia.

OPERACIONES DE CARGA:

- Completado el amarre se acerca la manguera flotante, se sube a bordo el extremo y se le retira la brida ciega.
- Se conecta con el acople rápido la manguera al manifold del buque previa verificación del estado del O ring.
- Se abre la válvula mariposa de la manguera y las válvulas del manifold del buque y comienza la carga en forma lenta al inicio.
- Debe cuidarse de no exceder la presión máxima del sistema (225 psi)
- A los pocos minutos de comenzado el bombeo se debe inspeccionar la terminal, las mangueras y la zona circundante para verificar que no haya pérdidas.
- Deben chequearse regularmente la presión en el manifold y la cantidad cargada con los valores obtenidos en el almacenaje.
- En general no es necesario personal a bordo de la terminal flotante durante la operación
- Terminado el bombeo se cierran las válvulas del manifold y mangueras y se coloca la brida ciega en el extremo de la manguera, la cual es puesta nuevamente en el mar.
- Se sueltan las amarras que unen al buque con la boya y se retira el buque marcha atrás hasta alejarse de la boya y maniobrar libremente.