



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Facultad de Química

**APLICACION DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN LA  
INSPECCION SUBACUATICA DE ESTRUCTURAS  
MARINAS**

**TRABAJO MONOGRAFICO**

**Jorge Eduardo Peña Aguirre**

**INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**México, D. F.**

**1983**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS	3
II.1. PARTICULAS MAGNETICAS	10
II.2. ULTRASONIDO	22
III. PROTECCION CATODICA	31
IV. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA INSPECCION SUBACUATICA	39
V. DESCRIPCION DE LOS METODOS DE INSPECCION	53
VI. CONCLUSIONES	59
VII. BIBLIOGRAFIA	61

## I - INTRODUCCION

Debido al creciente auge en la construcción de instalaciones marinas, como es el caso de las 48 plataformas y aproximadamente 1100 Km. de tubería marina de Petróleos Mexicanos, se ha hecho presente la necesidad de implementar o adaptar métodos de inspección por pruebas no destructivas con el fin de conocer el estado actual de dichas estructuras y con esto poder garantizar la integridad de las mismas.

Dentro de las pruebas no destructivas utilizadas en la inspección subacuática de estructuras marinas las de uso más común son las siguientes: ultrasonido para la medición de espesores y partículas magnéticas para la detección de defectos tales como grietas.

Ya que el ambiente marino es altamente corrosivo, es necesario el uso de sistemas de protección adecuados, para asegurar que las estructuras marinas no sufran deterioros por corrosión, esto se puede lograr por medio de sistemas de protección catódica adecuados. Como se podrá deducir de lo anterior, es preciso efectuar mediciones de potenciales catódicos para observar el correcto funcionamiento de estos sistemas, -

por lo que la medición de potenciales pasará a formar parte, - como una prueba más, de la inspección subacuática.

Cabe aclarar que el presente trabajo no pretende ser una-  
guía en la selección de puntos de inspección y en la evalua- -  
ción de daños, ya que esto depende de cada estructura en parti-  
cular, sino que tiene como objetivo el poner de manifiesto la-  
importancia del conocimiento y correcta aplicación de estas --  
técnicas en la inspección subacuática de estructuras marinas.

## II - PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Aunque los ensayos no destructivos no sirven para medir directamente las propiedades mecánicas en las piezas, son muy útiles en la localización de defectos que puedan dar lugar a posibles fallas en servicio. También estos ensayos pueden utilizarse en el examen de piezas ya en servicio, haciendo posible, en algunos casos, su sustitución antes de que tales fallas se produzcan.

Los procedimientos no destructivos de inspección o ensayos más comunes son:

- La inspección radiográfica
- La inspección por partículas magnéticas
- La inspección mediante líquidos penetrantes
- La inspección por ultrasonido

### Inspección radiográfica.

Una radiografía no es sino la fotografía obtenida por transparencia del objeto a reconocer, en el cual unas zonas aparecen más ennegrecidas que otras según la intensidad de la radiación que reciban. Esta intensidad es función de la densi

dad en las distintas zonas del material, ya que cuanto menor es ésta mayor es la facilidad con que el objeto es atravesado por la radiación y mayor la intensidad de la radiación que incide sobre la placa radiográfica, por lo que en ésta aparecen unas zonas con un sombreado más acusado que en otras. Por consiguiente, las sopladuras y grietas dan lugar en la radiografía a zonas más oscuras que el resto, mientras que las inclusiones originan zonas en claro.

Las radiografías de los metales puede realizarse bien utilizando los rayos X o los rayos Gamma. Estos últimos, por lo general, se obtienen de una fuente natural como el Iridio. La radiación Gamma tiene mayor penetración que los rayos X, pero su aplicación está más restringida al ser menor su sensibilidad. Esto hace que no se pueda graduar la intensidad de la radiación según el espesor a radiografiar o el contraste que se desee obtener, y por otro lado, como debido a su elevado costo, las cantidades de Iridio que se manejan son por lo general pequeñas, los tiempos de exposición son mucho mayores que los requeridos para los rayos X.

Los rayos X se generan al chocar un chorro de electrones a gran velocidad contra un obstáculo, así pues, cuando los electrones lanzados a una gran velocidad son bruscamente detenidos por un cuerpo, parte de su energía cinética se transforma en energía de radiación o rayos X. Las condiciones esenciales para que se generen los rayos X son: 1) un filamento que -

constituye la fuente productora de electrones, 2) un obstáculo (ánodo) situado en la trayectoria de los electrones, 3) una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo que permite controlar la velocidad de los electrones que incidan en el ánodo, y de este modo regular la longitud de onda de los rayos X-producidos, 4) y un medio de regulación de la corriente del tubo para controlar el número de electrones que inciden sobre el obstáculo.

Este tipo de prueba no tiene aplicación en la inspección-subacuática, ya que presenta serios problemas en su uso, tales como:

a) El agua tiene un poder de absorción de la radiación -- muy alto, por lo que se necesitaría dar tiempos de exposición -- muy largos.

b) Además de tener gran absorción, provoca una severa dispersión de las radiaciones por lo que las radiografías obtenidas tienen poca claridad y como consecuencia resultan poco confiables.

c) Su aplicación es muy costosa y los resultados obtenidos no justifican su precio.

### Inspección por partículas magnéticas

Este procedimiento se utiliza para la detección de defectos superficiales que por su pequeño tamaño son muy poco visi-

bles directamente, así como los defectos superficiales, es decir aquellos defectos situados en el interior de la pieza, pero próximos a la superficie. Por su misma naturaleza, este método no se puede llevar a cabo sobre materiales no magnéticos.

Este método consiste en magnetizar la pieza que se va a inspeccionar recubriéndola a continuación con limadura de hierro (partículas magnéticas), si bien la magnetización y la aplicación de partículas puede hacerse simultáneamente. Las partículas pueden encontrarse en suspensión en un líquido, y su aplicación se realiza proyectando el líquido sobre la pieza magnetizada. La forma aproximada de la discontinuidad, puesta de manifiesto por acumulación de partículas, se llama señal y corresponde a la proyección de dicha discontinuidad sobre la superficie.

Este método presenta grandes ventajas técnicas, es de fácil aplicación, los resultados obtenidos son confiables, no se necesita personal altamente calificado para su aplicación, se pueden detectar defectos a través de todo el material debido a los bajos espesores empleados en la construcción de estructuras marinas. Es por todo lo anterior que este método es uno de los más empleados en la inspección subacuática.

Inspección por medio de líquidos penetrantes.

Proceso para detectar defectos abiertos a la superficie -

en cualquier tipo de material, siempre que éste no sea muy poroso. Básicamente el fundamento fisicoquímico de operación de este sistema es el siguiente:

Un líquido coloreado, denominado penetrante, se aplica sobre la pieza a inspeccionar. Con tiempo suficiente el líquido tiene la propiedad de introducirse y penetrar en el defecto o grieta; a continuación se limpia la superficie para eliminar el exceso de penetrante. Por último se aplica un polvo llamado revelador, el cual absorbe el líquido coloreado que se introdujo en el defecto, extrayéndolo hasta la superficie produciendo una indicación o marca visual del defecto o grieta, quedando entonces perfectamente visible al ojo humano. Los líquidos penetrantes sólo detectan defectos que estén abiertos a la superficie.

Como se puede deducir de lo antes mencionado, este método no tiene aplicación en inspección subacuática.

### Ultrasonido

Este procedimiento no destructivo utiliza para la detección de los defectos ondas de frecuencias superiores a las audibles, de ahí su nombre. Las frecuencias más utilizadas varían de 1 a 5 millones de ciclos por segundo. Estas ondas de frecuencia tan elevadas se reflejan en la superficie y defectos de una manera muy similar a como lo hace la luz en un espejo.

jo. Después, mediante dispositivos adecuados, se logra hacer visible las ondas reflejadas.

El detector supersónico consta de un circuito eléctrico, el cual genera una corriente de frecuencia muy elevada que se aplica a un cabezal explorador. Este contiene un cristal, normalmente de cuarzo, el cual bajo la acción de las vibraciones eléctricas se expande y contrae produciendo una onda sonora -- longitudinal de la misma frecuencia. Al chocar la onda sonora con la superficie del material que se va a inspeccionar, parte se refleja y vuelve nuevamente al cristal dando origen a un impulso eléctrico, el cual, una vez amplificado, produce una inflexión luminosa en la pantalla de un osciloscopio. Cuando en su constante progreso la onda alcanza la cara opuesta se refleja dando lugar a otra inflexión, la cual aparece a la derecha de la primera. Si en el material existe una grieta o falla, al reflejarse en ella la onda sonora se producirá en la pantalla una inflexión situada en las señales procedentes de la superficie. Como las inflexiones o señales de la pantalla miden el tiempo transcurrido entre la llegada de las ondas reflejadas en las caras anterior y posterior, la distancia que las separa será función del espesor del material.

Este método de inspección tiene poca aplicación para la detección de grietas en la inspección subacuática porque presenta algunas desventajas, tales como:

- a) Para su utilización se requiere de personal altamente-capacitado.
- b) El costo del equipo ultrasónico es elevado.
- c) En México se cuenta con poco personal capacitado para-realizar este tipo de pruebas.

Es por lo anterior que este método se usa generalmente pa-  
ra la medición de espesores únicamente. Para esta determina-  
ción se cuenta con equipo como el SEA Probe-200, el cual es de  
fácil manejo, no requiere de personal altamente capacitado y -  
los resultados obtenidos son confiables.

Como puede observarse de las pruebas antes descritas, las  
que tienen mayor aplicación en la inspección subacuática de es-  
tructuras marinas son la prueba por partículas magnéticas y ul-  
trasonido. Por lo que el presente trabajo se enfocará exclusi-  
vamente a estas dos pruebas.

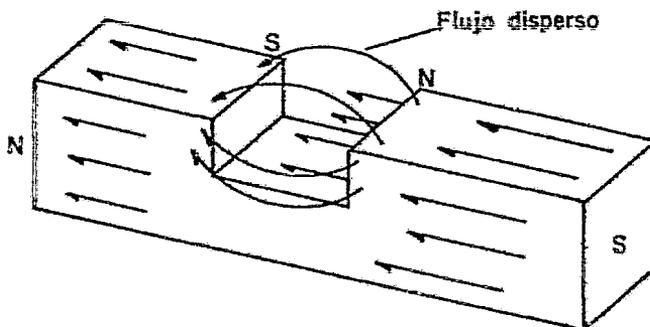
## II.1 - PARTICULAS MAGNETICAS

### Introducción.

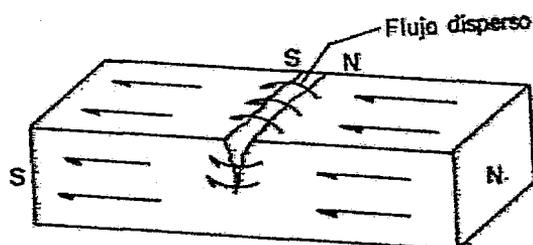
La inspección con partículas magnéticas es un método no destructivo, usado para detectar grietas y otras discontinuidades en o cerca de la superficie (los bajos espesores de los materiales usados en las estructuras marinas hacen posible realizar una completa inspección a través de los mismos) de materiales ferromagnéticos. Las partículas magnéticas, finamente divididas, se aplican en la superficie o en la parte que ha sido convenientemente magnetizada. Las partículas son atraídas a las regiones magnéticas orientándose generalmente en dirección transversal a la dirección del campo magnético, produciéndose así indicaciones que se detectan visualmente.

### Fundamentos.

Si en un imán se efectúa un corte parcial, se forman dos polos opuestos y aparecerá en esa zona un campo de fuga formado por las líneas de fuerza que salen de la barra y pasan a través del aire de un polo a otro.

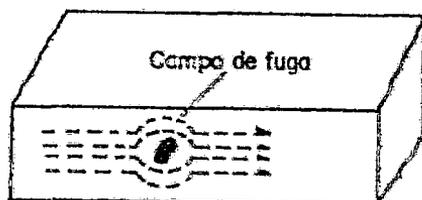


La interrupción del camino inducido de las líneas de fuerza dentro del imán crea dos nuevos polos, se dice que una discontinuidad (fisura, inclusión, variación de parámetros magnéticos del material, etc.) dará lugar a la formación de dos nuevos polos y, por ende, de un campo de fuga.

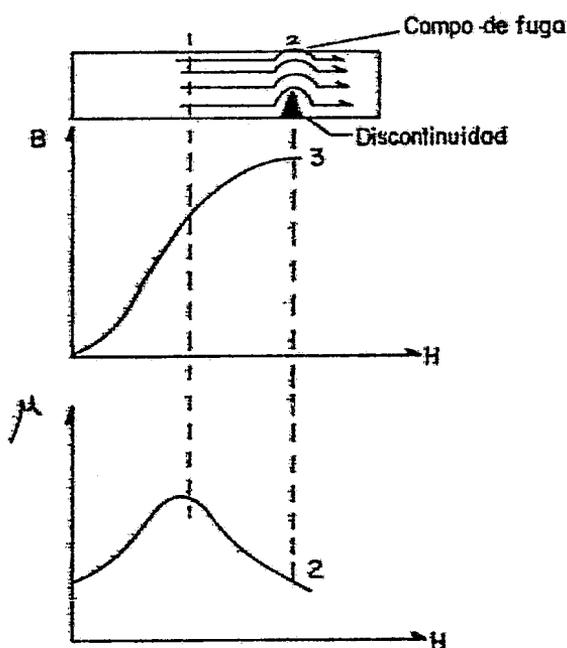


Vemos que: el método de partículas magnéticas consiste en la detección de campos de fuga, o sea flujos dispersos provocados por la formación de polos magnéticos a ambos lados de aquellas discontinuidades que interrumpen la trayectoria de las líneas de fuerza.

Por lo tanto, este método detecta discontinuidades en materiales que puedan ser fuertemente magnetizados o ferromagnéticos.



En consecuencia, en la sección correspondiente a la discontinuidad, hay una gran densidad de flujo que deberá pasar por un área reducida. Por lo tanto, la permeabilidad será menor que en el resto de la pieza, forzando a que parte del flujo escape fuera de la misma, dando lugar a un campo de fuga.



Dicho campo de fuga nos permite detectar las discontinuidades, mediante un detector o medio magnético, es decir las partículas magnéticas, que son atraídas por los campos de fuga, dan lugar a indicación de las discontinuidades.

La condición óptima de trabajo es aquella que: en el mo--

mento de la detección, la intensidad del campo H sea tal que - en la pieza se obtenga máxima permeabilidad sobre la curva virgen.

Existen dos técnicas de ensayo que son:

a) Técnica del campo residual o remanente. Se utiliza el campo magnético que retiene el material luego que se interrumpe la fuerza magnetizante. Este magnetismo residual o remanente es siempre menor al que existe cuando la corriente está fluyendo.

b) Técnica del campo continuo. Consiste en efectuar la - aplicación de las partículas magnéticas mientras se mantiene - la fuerza magnetizante. Por lo tanto, un campo continuo es -- una técnica de ensayo más sensible que la del campo residual, - o sea, provee una mejor indicación, por ser mayor su flujo disperso, y por ende, la atracción sobre las partículas magnéti-- cas.

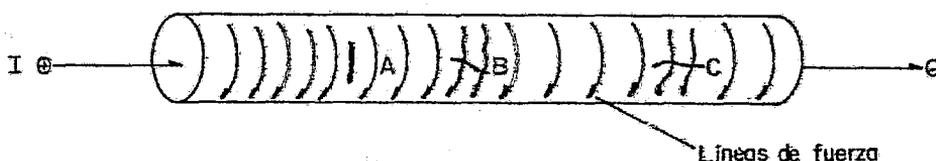
#### Métodos de Magnetización.

##### a) Magnetización circular.

Ya que la circulación de corriente a través del material-ferromagnético produce un campo magnético en el interior y máximo en la superficie. Se puede aplicar este defecto en la detección de discontinuidades.

Si se tiene una barra con discontinuidades orientadas en-

distintos sentidos, y se hace circular corriente a través de ella observamos que la discontinuidad "A" es paralela a la lí-



nea de fuerza, o sea que no produce polos magnéticos, por lo tanto no provoca campos de fuga y no se detecta. Las discontinuidades "B" y "C" sí se detectan.

Por tanto, debemos tener idea de la orientación posible de los defectos en la pieza (basándonos en su proceso de fabricación, tratamiento térmico, esfuerzos mecánicos a que fue sometida, etc.) para fijar la dirección de circulación de corriente que nos permita detectar dichas discontinuidades.

El campo se incrementa desde cero, en el centro de la barra, hasta alcanzar su valor máximo sobre la superficie, esto nos indica que el flujo disperso será mayor si la discontinuidad es superficial.

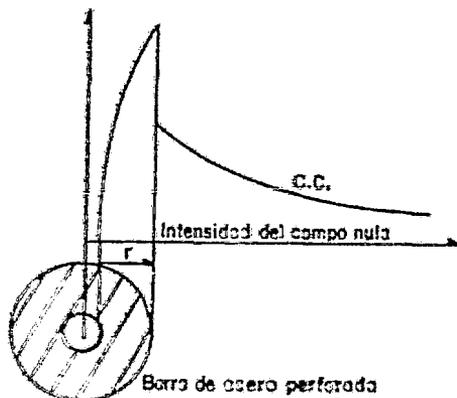
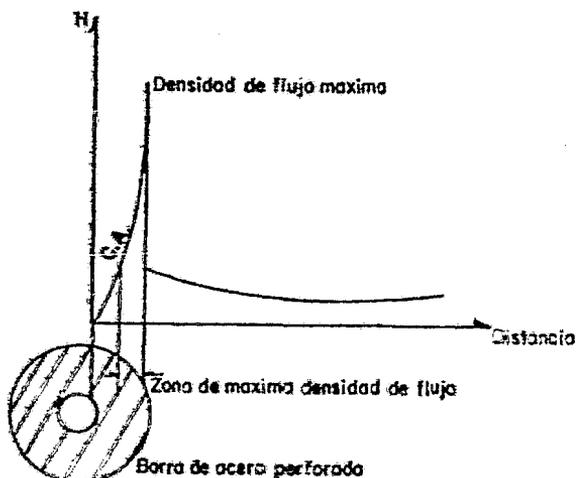
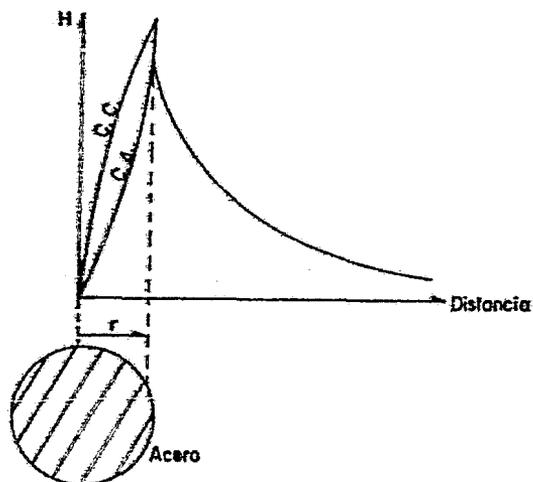
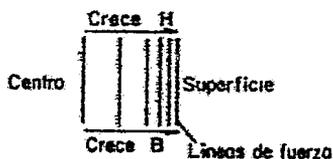
La intensidad de corriente requerida para la magnetización circunferencial es de 600-800 A por cada 25 mm de espesor o diámetro.

Se debe tener en cuenta que la situación del conductor central con respecto a las paredes de la pieza a ensayar tie-

men gran influencia sobre la densidad del campo inducido en -- las diferentes secciones de las paredes del espécimen. Para -- que el campo sea uniforme en una pieza de geometría regular, -- el conductor debe ser concéntrico con la pieza.

Para magnetización circular se puede utilizar un conduc-- tor central o puntas.

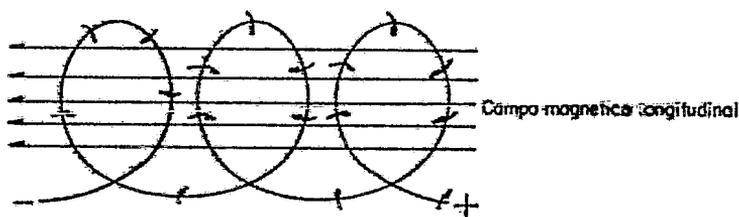
Las puntas deben ser ubicadas de tal forma que las líneas de fuerza sean normales a la zona de soldadura a inspeccionar.



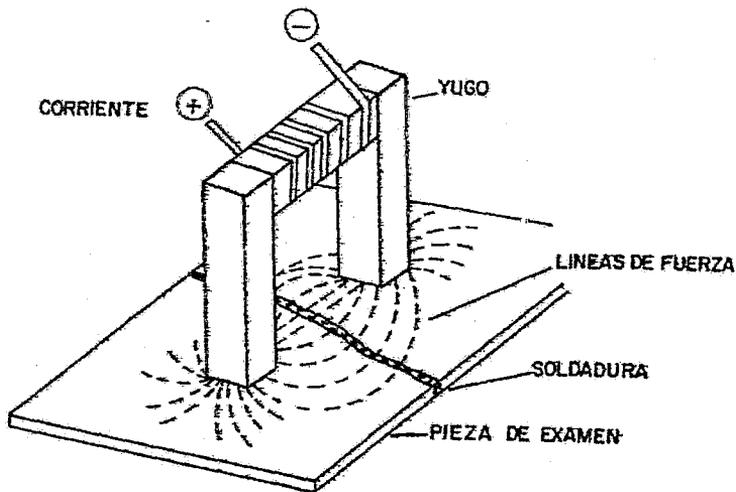
Debe tenerse en cuenta en cada caso, que por ser el contacto puntual, al operar con corrientes elevadas la superficie de la pieza de ensayo puede ser deteriorada por falsos contactos o sufrir calentamientos. Para evitar la formación de arcos debido a falsos contactos existen electrodos provistos de una llave dispuesta de tal modo que impide la circulación de corriente por las puntas si no existe un buen contacto entre las piezas de ensayo y el electrodo.

#### b) Magnetización Longitudinal.

Se basa en que la corriente eléctrica al pasar a través de una barra de cobre crea un campo magnético alrededor de la misma, sólo que se modifica la geometría de la barra formando una bobina con la misma.



Otra forma de magnetización longitudinal es mediante la utilización del yugo, que consiste en una bobina de alambre de cobre arrollada sobre un núcleo de chapas de hierro-silicio en forma de "U".



también podemos magnetizar longitudinalmente utilizando un imán permanente.

Para obtener magnetización longitudinal se suele utilizar el cable arrollado alrededor de la pieza a examinar cuando debido al tamaño de ésta no se pueda utilizar la bobina prevista para el efecto.

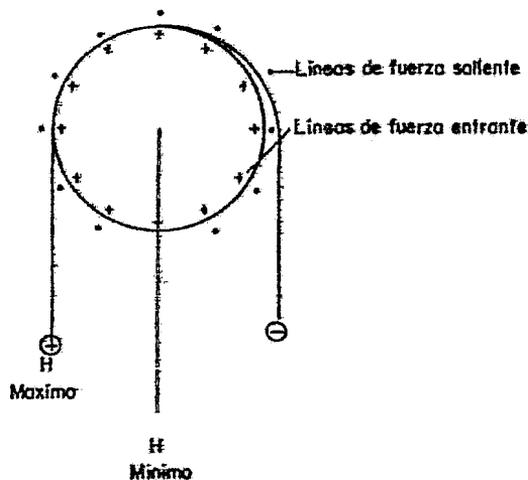
### c) Magnetización por Corrientes Inducidas.

Se aplica este modo de magnetización cuando se desean detectar defectos en dirección circunferencial en piezas de forma de anillo.

Se coloca la pieza dentro de una bobina magnetizante, con

céntricamente con la misma. Y se coloca dentro de la pieza y paralelo al eje de la bobina, un núcleo laminado de acero de baja retentividad. La longitud del núcleo debe ser aproximadamente igual al diámetro del anillo y no inferior a 15 cm.

Este procedimiento induce un campo magnético circular a la pieza, tal que la máxima intensidad de campo está sobre la superficie interior de la bobina, pues es donde hay mayor densidad de flujo.



Este modo de magnetización, permite detectar fisuras o discontinuidades tanto en interiores como en exteriores, pues las líneas de fuerza en magnetización longitudinal se presentan en toda la sección de la pieza.

Para magnetización longitudinal se requiere:

$$\frac{45\ 000}{L/D} = \text{Amp/vuelta} \quad \text{Donde:}$$

L = Longitud de la pieza

D = Diámetro o espesor

esta fórmula es válida para  $2 < L/D < 15$  y para una sección de la bobina  $< 1/10$  del área de la bobina.

De donde, la corriente de magnetización será:

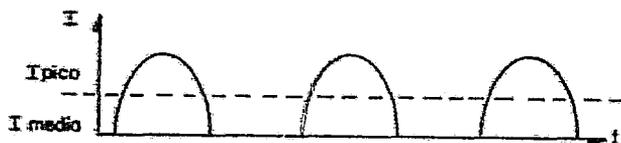
$$I = \frac{\text{Amp/vuelta}}{\text{No. de vueltas de la bobina}}$$

Si la pieza se ubica sobre la pared interior de la bobina ésta magnetiza como máximo hasta 220 mm a ambos lados de la misma permitiendo detectar defectos circunferenciales.

#### d) Magnetización Combinada (Circular y Longitudinal).

Para inspeccionar completamente piezas con defectos en diferentes orientaciones, es necesario efectuar dos o más magnetizaciones o inspecciones, una de ellas con magnetización circular y otra longitudinal. Para disminuir tiempo de inspección y efectuar una sola observación, en cierto tipo de muestras de geometría simple, es posible aplicar simultáneamente dos o más corrientes magnetizantes con el fin de detectar defectos orientados en todas las direcciones mediante un solo ensayo. Esto crea lo que se llama un campo vectorial.





Tiene las mejores cualidades de penetración para defectos subsuperficiales, la densidad de flujo está determinada por la  $I_{\text{pico}}$ , mientras que el calentamiento es producido por la  $I_{\text{media}}$ . En esto reside su principal ventaja con respecto a la continua por rectificación trifásica ya que ésta tiene  $I_{\text{pico}} \approx I_{\text{media}}$  con lo cual a igual densidad de flujo tenemos mayor calentamiento.

## II.2 - ULTRASONIDO.

Las ondas sonoras son mecánicas, que se pueden propagar - en sólidos, líquidos y gases. Estas ondas se pueden generar - dentro de un rango de frecuencias:

0 - 20 Hertz Infrasonido

20 - 20 000 Hertz Rango audible

20 000 - en adelante Ultrasonido.

Las ondas sonoras si no son obstruidas se propagan en todas direcciones a partir de una fuente sonora, esta propagación en el medio produce una perturbación en el arreglo de los átomos del material, sin transporte efectivo de material de un lugar a otro. Si se considera una onda de sonido longitudinal en un sólido, se presentan dos zonas repetitivas perfectamente definidas que representan el desplazamiento de los átomos: una zona de compresión con una densidad mayor que en el resto del material, y una zona de rarefacción con menor densidad.

El desplazamiento de las partículas será a la derecha o hacia la izquierda dependiendo del movimiento de la perturbación. La representación de la onda de sonido y sus características puede ser fácilmente entendible al comprender la perturbación que la causó.

Los parámetros asociados a una onda son:

**Amplitud**

Es el valor máximo de la perturbación de onda, se denota con la letra A.

**Longitud de Onda**

Es la distancia que existe en intervalos regulares de la onda, se denota con  $\lambda$

**Período**

Es el tiempo mínimo en el cual se repite una onda, se denota con T.

**Frecuencia**

Es el número de oscilaciones o de ciclos de una onda que pasa por un punto en una unidad de tiempo, se denota con F.

**Número de onda**

Es el número de ondas que se encuentran en una distancia unitaria, se denota con K.

Estos parámetros son los que caracterizan y diferencian a las ondas sonoras. Así mismo, por ejemplo, al variar la frecuencia, la longitud de onda cambia, mediante la relación:

$$F = c/\lambda$$

Si comparamos dos ondas con amplitudes de onda similares-

a una velocidad y dirección; vemos que las dos zonas son iguales a diferencia que una está adelantada una distancia más que la otra. Entonces el desplazamiento es exactamente una, dos ó N veces de longitud de onda, y decimos que las ondas se encuentran en fase; por el contrario, si éstos no guardan una relación directa entre las longitudes de onda decimos que están defasados.

La generación de ondas ultrasónicas en materiales sólidos se puede llevar a cabo con diferentes tipos de ondas.

- a) Ondas longitudinales o de compresión
- b) Ondas transversales o de corte
- c) Ondas superficiales o de Rayleigh
- d) Ondas Lamb

Las ondas longitudinales o de compresión (L), se caracterizan por tener un movimiento de partículas paralelo a la dirección de la onda.

Las ondas transversales o de corte (T), se caracterizan por un movimiento de partículas perpendicular a la dirección de la onda. Este tipo de ondas son las únicas que no producen regiones de compresión, no hay cambio en la densidad local del sólido. La velocidad de las ondas T es  $1/2$  de la velocidad de las ondas L.

Las ondas superficiales producen un movimiento elíptico de las partículas en la superficie de un sólido perpendicular-

a la superficie y la dirección de propagación de la onda.

Las ondas de Lamb se producen en placas cuyo espesor es comparable a la longitud de onda de estas ondas.

En general las ondas ultrasónicas son vibraciones mecánicas que generan un esfuerzo muy abajo del límite elástico del material sólido, lo cual explica que este tipo de pruebas no ocasionen deformaciones, y de ahí su aplicación en la inspección de los metales para la detección y caracterización de fallas internas y superficiales. En la inspección ultrasónica las ondas más utilizadas son las longitudinales y las transversales.

Cuando las ondas ultrasónicas viajan a través del material, toman características definidas, debida a una impedancia acústica provocada por el material en que viajan. La impedancia acústica se define como la resistencia que encuentra el sonido al viajar por un material. El límite entre dos materiales de diferente impedancia acústica, se le denomina interfase acústica, es de ahí donde la reflexión del haz sónico, depende de la naturaleza de los diferentes materiales. La reflexión total de una interfase acústica se puede calcular en base al coeficiente de reflexión R

$$R = \frac{w_1 - w_2}{w_1 + w_2}$$

Donde:

- R es el coeficiente de reflexión
- $w_1$  la impedancia acústica de alguno de los materiales
- $w_2$  la impedancia acústica del otro material

Las ondas ultrasónicas al entrar en el material viajan - con una intensidad acústica que está en función de la frecuencia con que son emitidas por la fuente sonora.

La generación de ondas ultrasónicas se lleva a cabo mediante el efecto piezoeléctrico, que consiste en la transformación de energía. Cuando se transforma la energía mecánica en energía eléctrica, se lleva a cabo el efecto piezoeléctrico directo; cuando se transforma la energía eléctrica en energía mecánica, se lleva a cabo el efecto piezoeléctrico indirecto. Esta transformación de energía se lleva a cabo con la ayuda de un cristal piezoeléctrico que tiene la característica de producir:

- a) Una diferencia de potencial a través de sus caras, - cuando deformamos con una fuerza mecánica externa.
- b) Un cambio de configuración externa, cuando aplicamos un voltaje.

La frecuencia de vibración de los cristales depende de su espesor, mientras más delgados sean vibran más. Estos crista-

les son de cuarzo, titanato de bario, sulfato de litio, etc.

Cuando la onda sonora producida por un cristal piezoeléctrico entra al material, se proyecta en un haz recto y angosto desde el transductor sin cambios de intensidad. El campo sónico producido por el cristal piezoeléctrico, cuya superficie vibra con un movimiento armónico simple, da lugar a dos regiones: la región de Fresnel o campo cercano y la región de Frauhoffer o campo lejano.

En la práctica es muy importante conocer el límite de estas regiones ya que si se tiene un defecto en el campo cercano, las interferencias producidas ahí no permitirán evaluarlo.

La distancia del campo cercano se puede calcular con la fórmula:

$$N = \frac{D^2 F}{4c}$$

Donde:

N es la distancia del campo cercano

F es la frecuencia

D es el diámetro del transductor

c es la velocidad del sonido en el material

Al propagarse un haz ultrasónico alcanzando la interfase, se produce una reflexión con un comportamiento similar al de un haz luminoso, la cantidad de energía reflejada depende de -

Las características del medio que compone la interfase y de la impedancia acústica de los materiales.

La optimización de un haz ultrasónico depende específicamente de las siguientes variables:

- a) sensibilidad
- b) detectabilidad
- c) penetración
- d) resolución

**Sensibilidad:** es la habilidad de un sistema a prueba para detectar ecos producidos por pequeñas discontinuidades. Esta habilidad depende de la abertura del ángulo del haz sónico, este ángulo se calcula mediante la relación:

$$\text{sen } \varphi = \frac{c}{DF}$$

**Detectabilidad:** es la capacidad de un sistema a prueba - para detectar las discontinuidades de un tamaño dado.

**Penetración:** es la habilidad de un sistema a partir de so breponerse a la pérdida de sonido por atenuación del material - provocada por poros, límites de grano, grafito, etc. La penetración mejora bajando la frecuencia.

**Resolución:** es la habilidad de un sistema a prueba de dis tinguir reflectores a diversas profundidades. Las formas de - obtener mejores resultados son:

- a) Bajar el voltaje.
- b) Cambiar el transductor por otro de amortiguante más rígido.
- c) Cambiar la frecuencia del transductor.

Cualquiera que sea el método utilizado para realizar una inspección, existen diferentes técnicas para introducir el haz ultrasónico al material. Estas técnicas dependiendo de la onda empleada pueden ser:

- a) Técnica con haz recto
- b) Técnica con haz regular
- c) Técnica con ondas superficiales

En la técnica de haz recto el haz de sonido se proyecta dentro de la pieza bajo prueba perpendicular a la superficie de ésta, obteniéndose reflexiones de la superficie posterior o de defectos internos en la pieza.

La técnica con haz angular proyecta en el material a prueba, ondas transversales. En este caso el eco posterior debido al material, no aparece, debido a que la onda recorre grandes distancias, que están lejos de ser detectadas por la pantalla del T.R.C.

La técnica con ondas superficiales, es una adaptación especial de la técnica del haz angular. Se utiliza principalmente en la detección de defectos superficiales poco profundos. -

La desventaja de utilizar esta técnica es que el acabado superficial de la pieza debe ser muy fino.

### III - PROTECCION CATODICA

Una vez que se instalan estructuras subacuáticas en el mar, no se puede esperar que los recubrimientos orgánicos o inorgánicos, tales como pintura, alquitrán de hulla, concreto, etc., brinden una protección adecuada contra la corrosión por períodos prolongados de tiempo.

Una protección adecuada puede ser alcanzada mediante el uso de un sistema de protección catódica bien diseñada. En estos sistemas, todas las áreas catódicas de la estructura deben estar polarizadas al potencial del área anódica asociada, bajo las condiciones de exposición de la celda galvánica. Es evidente que se tiene que adoptar un criterio de protección, el cual considere factores tan variados como: la densidad de corriente, velocidad del agua de mar, distribución de corriente, límite de corrosión tolerable, fragilización por hidrógeno, costo de la corriente de protección y algunos otros.

La protección catódica consiste en colocar el metal que normalmente se corroería en contacto electrofítico con uno situado por encima de él en las series galvánicas. De este modo el metal más activo desempeña el papel del ánodo. En esencia,

el conjunto constituye una celda galvánica cuyo ánodo es el metal más propenso a la corrosión. En algunos casos la corriente protectora se toma de un generador de tensión exterior al sistema.

### Tipos de Protección Catódica.

#### a) Protección catódica por ánodos de sacrificio.

Al pasar corriente entre la superficie del ánodo y la superficie de la estructura bajo protección se produce un gradiente de potencial. La magnitud del gradiente, en cualquier punto, en el electrolito corrosivo depende del tamaño y número de ánodos así como de la conductividad del electrolito.

Este gradiente de potencial adquiere especial importancia en estructuras inmersas en electrolitos de baja conductividad. El cálculo en la distribución de potencial para estructuras complejas no es posible. Cuando el electrolito es agua de mar (o cualquier electrolito similar de baja resistencia) la ubicación de los ánodos es de importancia secundaria, pero generalmente son situados tan cerca de la estructura como sea posible.

Para la aplicación de protección catódica mediante ánodos de sacrificio, es necesario que el material elegido como ánodo cubra ciertas necesidades básicas que van desde su costo hasta sus propiedades físicas y electroquímicas. En base a esto se reduce el campo de elección puesto que pocos materiales reúnen

las características descritas.

Entre estos materiales podemos citar el magnesio, el aluminio y el zinc.

El requerimiento esencial es que el ánodo pueda polarizar el acero hasta un punto tal que se neutralice la corrosión o se logre una velocidad de corrosión aceptable, por un período y costo aceptable también.

Las características de un ánodo pueden clasificarse como aparece a continuación:

- Composición química
- Proceso de fabricación
- Forma (física)
- Contacto eléctrico por inserto anódico
- Corriente aplicada
- Capacidad
- Eficiencia
- Potencial

**Composición Química.**- La composición química y la distribución de los elementos de aleación son críticas en el funcionamiento del ánodo, por lo que se requiere el estricto control de calidad y de un análisis espectrográfico completo del material introducido a la fusión y procedente de cada fusión; es esencial controlar el nivel de impurezas.

Proceso de Fabricación.- Aún cuando la mayor parte de -- los ánodos son hechos mediante vaciado por gravedad, algunos -- son hechos por medio de colada continua o por extrusión. El -- método de vaciado afectá la apariencia y la estructura del áno -- do y por consiguiente su permeabilidad y funcionalidad, el áno -- do deberá ser fundido de tal manera que cuando solidifique, lo -- haga sin segregación de aleantes. De igual forma no deberá -- existir inclusiones de materiales extraños, ni sopladuras. Si -- lo anterior llegara a ocurrir, la tendencia del ánodo a pasi-- varse o a desintegrarse físicamente durante el uso se incremen -- tará.

Forma.- Las diferentes formas ofrecen diversas superfi-- cías expuestas a una misma relación de peso, esto trae como -- consecuencia que las diferentes formas proporcionen diversas -- corrientes de salida para un mismo peso.

Insertos anódicos.- Todos los ánodos de sacrificio tie-- nen un inserto de acero, el cual tiene la función de sostener-- lo y asegurar el contacto eléctrico con la estructura que re-- quiere protección. Es de principal importancia que el contac-- to eléctrico del inserto esté perfectamente sano a fin de ase-- gurar buena conductividad.

Corriente aplicada.- La corriente aplicada al sistema -- (anódica de salida) es la diferencia entre el material del áno -- do y el acero.

**Capacidad.-** La capacidad anódica es la corriente que puede ser suministrada por cierto peso de material anódico y es usualmente expresada en amperes-hora/Kg.

**Eficiencia.-** La eficiencia del ánodo es el porcentaje de la capacidad anódica teórica, la cual se considera en la práctica como forma de corriente útil.

**Potencial anódico.-** El significado de potencial anódico es que en cuanto más negativo sea éste, mayor es la corriente de salida en el ánodo y mayor es la velocidad de polarización del acero al cual va unido.

#### b) Protección Catódica Mediante Corriente Impresa.

Numerosos materiales entran en la categoría de conductores eléctricos por lo que se puede utilizar como ánodos para la aplicación de corriente impresa. Pero solamente una pequeña parte de éstos son utilizados en la práctica debido a su costo por unidad de energía emitida y su durabilidad electroquímica como mecánica.

Estos factores se encuentran interrelacionados en la misma forma que en cualquier campo ingenieril. La selección de algún material puede estar relacionado únicamente al costo total, dentro de este costo debe incluirse el costo inicial del sistema de protección catódica, el mantenimiento, los costos de operación y reparación durante la vida útil de la planta --

que se va a proteger así como el sistema de protección.

Ventajas y Desventajas de los Sistemas de Protección Catódica.

Anodos de Sacrificio

Ventajas:

- 1) No se requiere de ninguna fuente de energía externa.
- 2) La instalación es relativamente sencilla.
- 3) El peligro por inter-reacción debido a corrientes vagabundas es mínimo.
- 4) Mayor economía para sistemas pequeños.
- 5) El peligro por sobrepotencial es atenuado.
- 6) Se puede dar con facilidad una distribución uniforme.
- 7) No se tiene costos de operación.

Desventajas:

- 1) Se tiene una corriente máxima aplicada durante el inicio de la operación.
- 2) Existe la posibilidad de que la corriente aplicada en electrolitos de alta resistividad no sea suficiente para proteger la estructura.
- 3) Se requiere de un alto número de ánodos para proteger-

estructuras de tamaño considerable.

- 4) Si la corriente aplicada es muy alta se tendrán que hacer los reemplazos con mucha frecuencia.

#### Sistemas de Corriente Impresa.

##### Ventajas:

- 1) Una instalación puede proteger una gran superficie metálica.
- 2) Los sistemas pueden ser diseñados con un voltaje y un amperaje de reserva a fin de suplir las necesidades -- cuando sobrevenga el deterioro del recubrimiento.
- 3) La corriente aplicada puede ser variada fácilmente para satisfacer los requerimientos.
- 4) Los esquemas pueden ser diseñados para un tiempo de vida mayor a 20 años.
- 5) Un interruptor de tiempo puede incorporarse al sistema de CD para impedir interacciones.

##### Desventajas:

- 1) Existe la posibilidad de interacción con otras estructuras adyacentes.
- 2) Está sujeto a la accesibilidad de una fuente de CA ó de CD.

- 3) Se requiere mantenimiento eléctrico y una inspección - constante.
- 4) Altos costos de operación para la aplicación de co- - rrientes en los casos de estructuras marinas sin recubrimiento.
- 5) Está sujeto a paros de suministro de energía y fallas.

#### IV - DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA INSPECCION SUBACUATICA

##### Equipo de Partículas Magnéticas.

El equipo de partículas magnéticas se puede dividir en tres componentes principales que son los siguientes:

##### 1.- Caja de control de superficies.

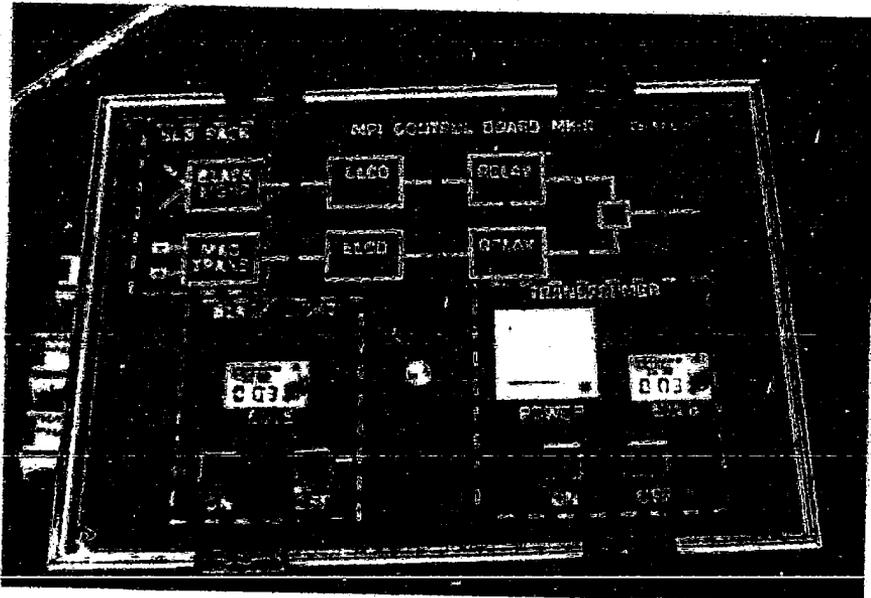
Alimentación: 220-240 V, 30 A, 50-60 Hz, monofásica, fusibles para 35 A.

- Salida No. 1 para lámpara de luz negra. Esta salida es muy especial. La lámpara tiene que conectarse en serie con una resistencia ("Choke") para limitar la corriente de operación, de otro modo se quemaría en tres minutos.
- Salida No. 2 para el transformador. Esta salida es variable de 0 a 30 A mediante una unidad TRIAC de control.

Ambas salidas están protegidas mediante disparadores de fuga a tierra, por lo que es necesario, asegurarse que tanto el transformador como la lámpara estén fir-

memente conectados a tierra.

En la fotografía No. 1 se presenta la caja de control antes descrita.



Fotografía No. 1. Caja de control en superficie

## 2.- Unidad subacuática.

La unidad subacuática consiste en:

- a) Marco principal
- b) Transformador
- c) Tanque de tinta
- d) Alimentador de aire de superficie
- e) Conectores

El transformador (B) va lleno de aceite para transformador o aceite vegetal, rasado mediante el tapón (K). La corriente le llega al transformador mediante un conector de mampero de tres terminales. La tierra debe ir conectada con la tierra. Las de carga son intercambiables. (Croquis Nos. 1, 2 y 3).

El tanque de tinta (C) se llena por su tapa y se purga mediante la llave de alivio (L). La presión se lleva a la tinta mediante la válvula de descarga (M) y la tinta se mantiene agitada mediante el aire que llega por el tubo de alimentación -- (H) en el fondo del tanque. La tinta sale del fondo del tanque por el tubo (O).

La presión del tanque de tinta debe ser de 30 a 40 psi sobre la presión ambiente. Se ajusta mediante el regulador (P) y la válvula de descarga (M). Estas dos válvulas (P) y (M) -- buscarán entonces el equilibrar sus presiones causando una pulsación de aire a través de la tinta.

El marco principal consta de tres partes (tanques de flotación, tanque de transformador y tanque de tinta).

El tanque de flotación es de construcción abierta con llenado (D) y descarga (E), su aire le llega del tanque de tinta.

El tanque de flotación viene sujeto por cuatro birlos en su base, para quitarlo hay que quitar primero el tanque de flotación.

El tanque de tinta va atornillado en la posición (F) y -- hay que soltar la presión antes de abrirlo.

#### Conectores.

Puntas: La unidad va acoplada mediante dos unidades de - conexión al frente del transformador. La longitud del cable - limita la potencia disponible en las puntas de plomo, éstas no deben medir menos de 15 mm de longitud, si la sección de cobre de las puntas llegara a tocar la pieza de prueba, probablemente produciría un defecto mayor al buscado.

La especificación DNV (DET NORSKE VERITAS) para la inspec - ción por partículas magnéticas (IPM) con puntas, establece una - corriente de entre 4 y 5 A por mm de espaciamento entre las - mismas. La corriente disponible se mide utilizando un amperí - metro de gancho en uno de los cables conductores.

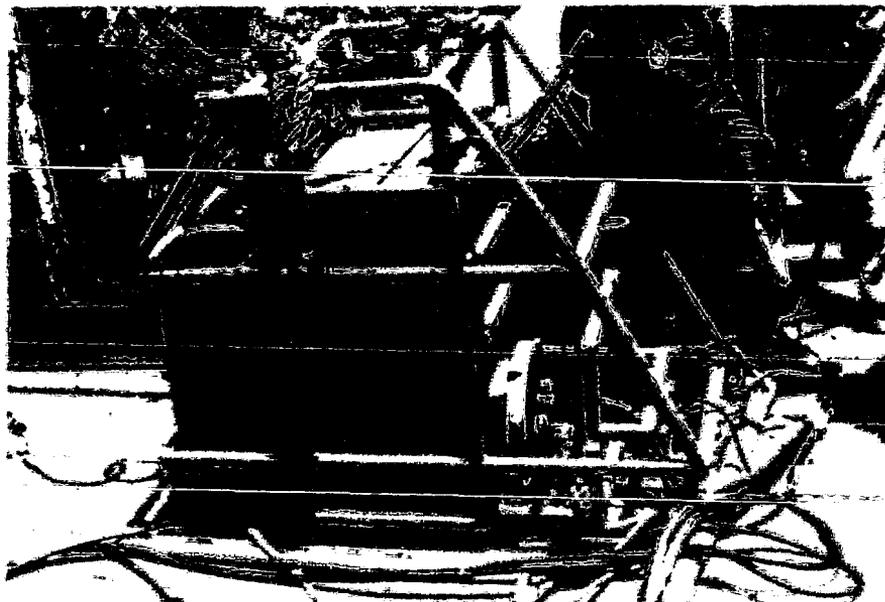
Bobina: La bobina se conecta a la misma salida que las - puntas o al portapuntas. Aquí también, la longitud del cable - limita la potencia disponible. Si alargamos el cable, hay que aumentar su sección transversal para reducir su caída de poten - cial, independientemente de la posición del control variable.

Para calibrar una bobina, se dispone en seco de dos a - - tres vueltas de cable rodeando la probeta- Se ajusta el con - trol variable y con el amperímetro de gancho se ajusta la co - rriente al valor especificado. Tomando nota de la lectura del

medidor de la caja de control en superficie ya que esta lectura va a ser proporcional a la corriente de trabajo. Cuando se tenga la bobina en su sitio bajo el agua, ajuste el medidor de la caja de control a la misma lectura de la prueba en seco. Debe tenerse así la misma corriente que se usó para la calibración.

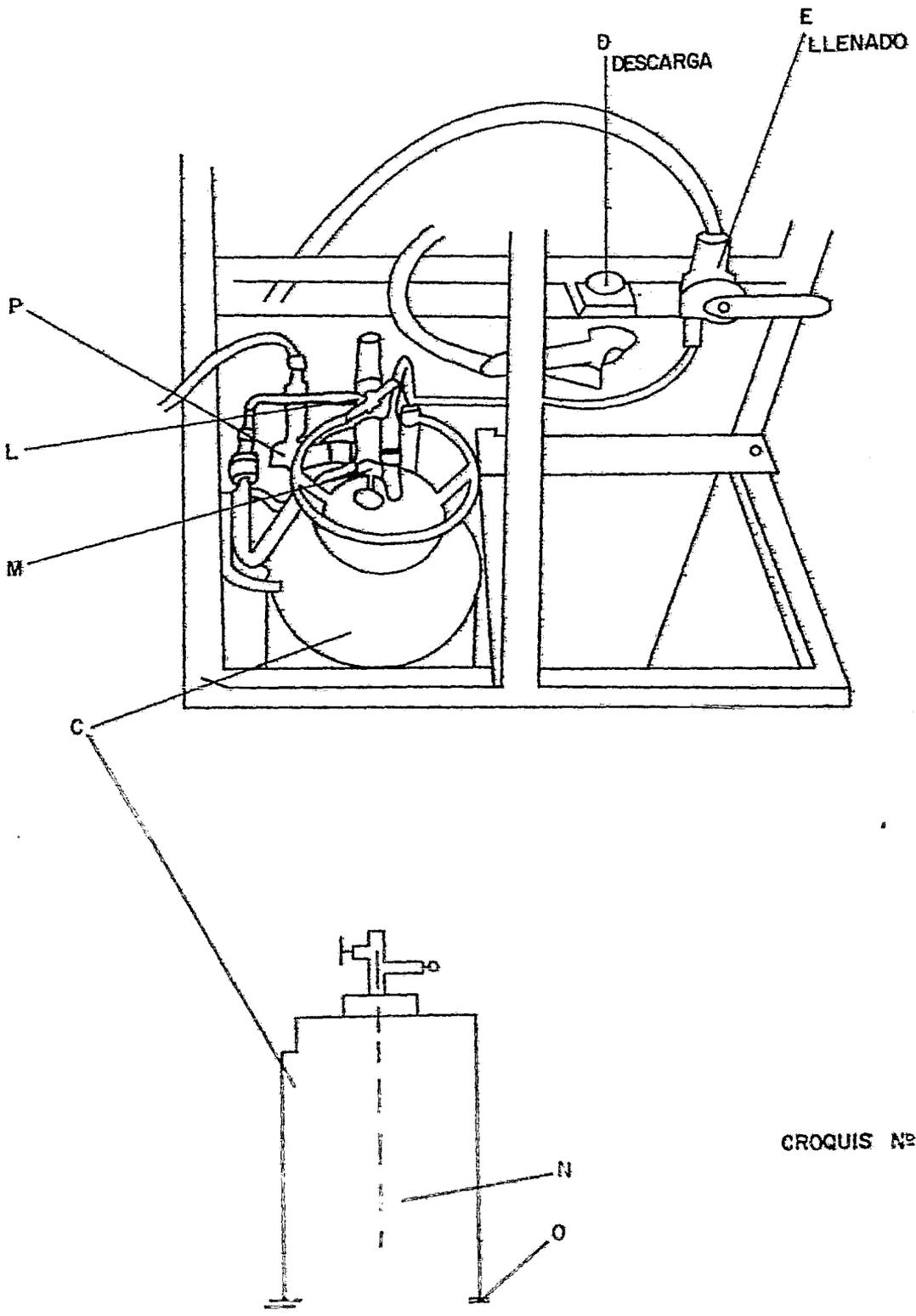
Como regla práctica, puede usarse la especificación DMV - para IPM con bobina: para acero de entre 6y 20 mm de espesor, - la bobina debe llevar como mínimo 8 A/mm de diámetro, por ejemplo, si tenemos un "bracing" de 600 mm de diámetro, la corriente necesaria es de 4800 A, la cual se obtendrá con cuatro vueltas de 1200 A.

En la fotografía No. 2 se observa la unidad subacuática.



Fotografía No. 2. Unidad subacuática.

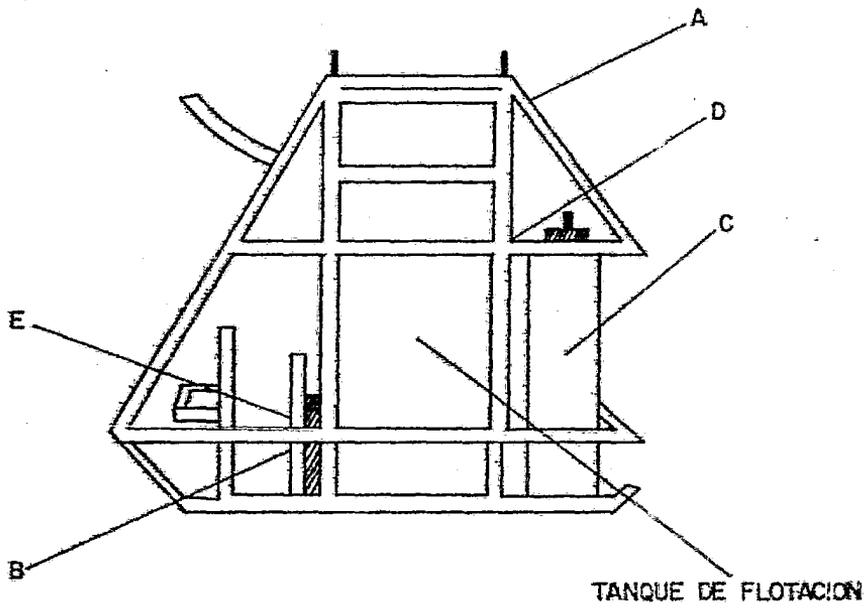
TANQUE DE TINTA



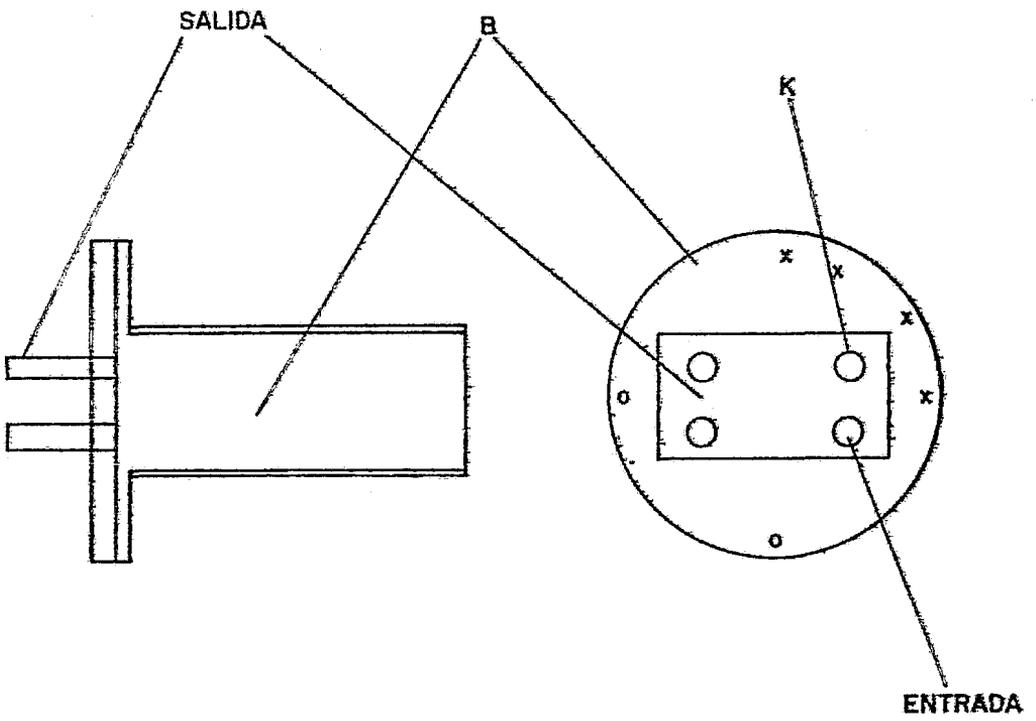
CROQUIS Nº 1

## CROQUIS N° 2

### DISPOSICION GENERAL



CROQUIS Nº 3



TRANSFORMADOR

### 3.- Lámpara de Luz Negra.

La lámpara de luz negra es del tipo OSEL, lleva un foco de 100 Watts tipo HPMV de descarga con base tipo PAR. - Su filtro el OXI o equivalente de 365 mm.

El foco no puede probarse con multímetro, ya que es demasiado alta su resistencia y aunque sea nuevo el foco, indicaría circuito abierto.

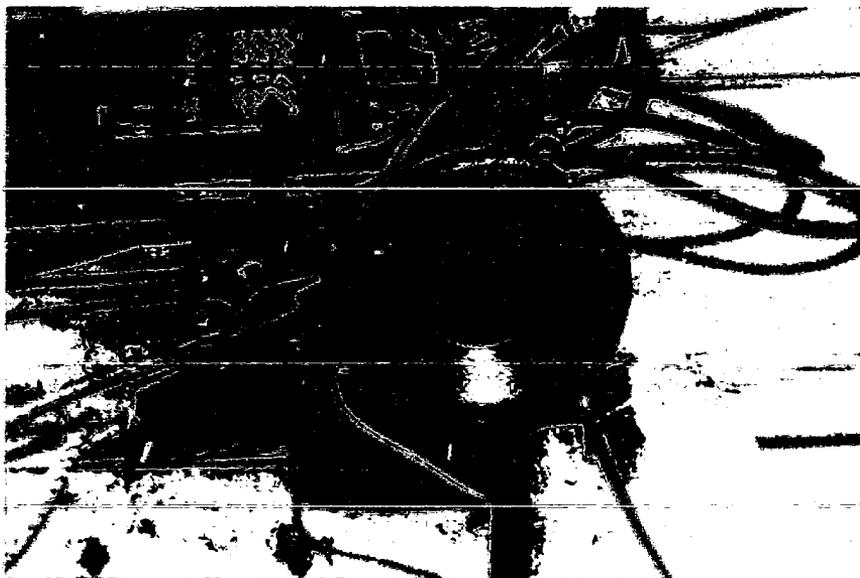
Nunca debe utilizarse la lámpara demasiado tiempo en aire porque se distorsiona su carcasa, se arruina la junta-tórica (O-Ring) y puede estrellarse el filtro. Tampoco debe mirarse la lámpara de frente ya que emite radiación ultravioleta y puede causar ceguera.

La lámpara tarda cinco minutos en alcanzar su potencia completa. Esta lámpara puede trabajarse hasta una profundidad máxima de 236 m (700 pies).

#### Precauciones:

- La lámpara no debe probarse más de un minuto en aire, es para uso subacuático exclusivamente.
- Por ser muy pequeña, se apaga si se coloca muy cerca del campo magnético inducido. Sin embargo se reconecta, al enfriarse, en tres a cinco minutos.

- Si se sospecha que el foco está defectuoso deberá examinarse visualmente, pero no debe conectarse fuera de su carcasa ya que emite radiación ultravioleta en grandes cantidades. Como es del tipo OSEL, no puede probarse con un multímetro ni conectarse directamente a la corriente, ya que se fundiría.
- Al armar la lámpara no debe usarse ningún tipo de lubricante en la junta tórica. Opera a altas temperaturas y podría producirse una atmósfera explosiva.
- En la fotografía No. 3 se muestra la lámpara de luz negra.



Fotografía No. 3. Lámpara de luz negra.

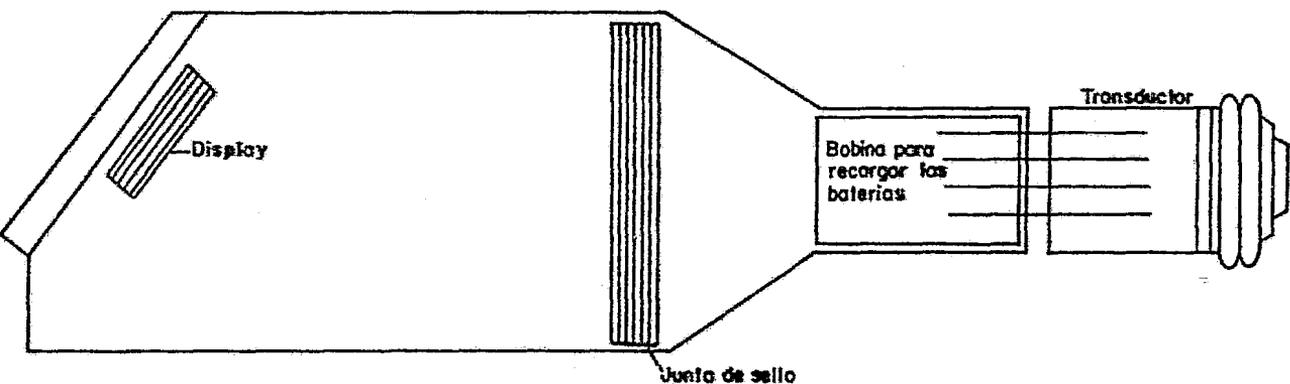
### Equipo Ultrasónico

Se usa el medidor ultrasónico de espesores CA-Probe SP-200, uno de los más precisos y de fácil manejo para el buzo. Es automático, para una profundidad de hasta 200m (650 pies) y una tolerancia en la práctica de 0.25 hasta 0.50 mm; puede medir espesores de 5 a 99 mm.

Su principio de operación es el de dos transductores -- que emiten y reciben, alternadamente, el pulso acústico, midiendo el tiempo y presentando el resultado como espesor, en una cabeza de lectura digital. Debe calibrarse antes y después de cada lectura. Viene con su calibrador ("step block") escalonado, utiliza como acoplante el agua salada en lugar de grasa como en los demás.

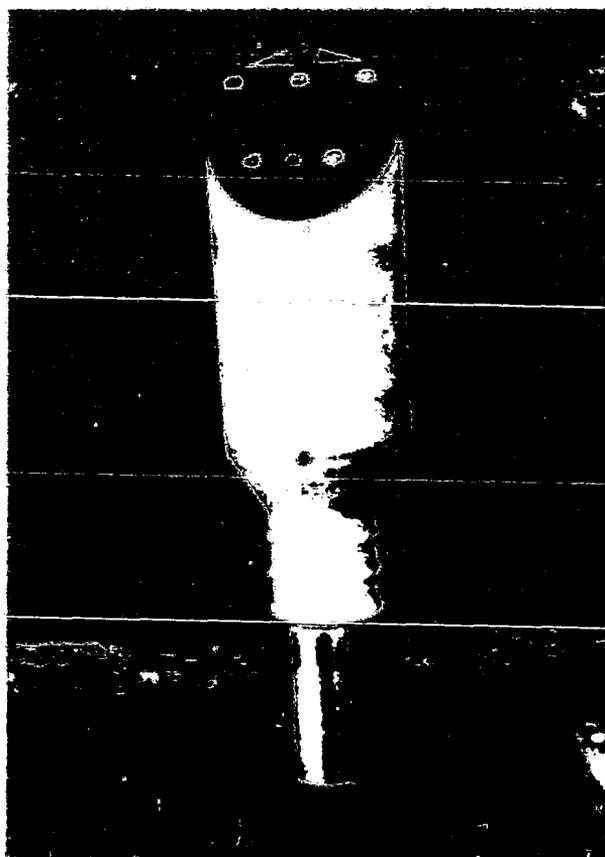
### Características técnicas

Transductor	Dual de alineación propia.
Baterías	Níquel-Cadmio (recargables)
Peso	1.2 Kg en aire y 0.0 Kg en agua.
Alimentación	240/110 V, 50-60 Hz, 15 Watts
Régimen de carga	Carga total en 14 hr
Indicaciones	Carga, baterías bajas y acoplamiento ultrasónico pobre



Croquis No. 1. Colocación general del CA Probe SP-200

En la fotografía No. 4 se muestra el aspecto que presenta el equipo ultrasónico.



Fotografía No. 4. CA Probe SP-200

### Equipo para la Medición de Potencial Catódico.

El Bathicorrómetro Bom-105 permite una mejor movilidad y ligereza en su manejo, proporcionando un modo para descubrir las condiciones de corrosión-protección en una estructura sub-acuática determinada.

El electrodo de referencia es de Plata/cloruro de plata, de diseño y construcción mejorada, de lecturas reproducibles y de alta exactitud, en condiciones marinas adversas. La media celda está construida para estar a sólo 5 cm de la superficie de prueba, proporcionando una lectura localizada, es posible obtener un promedio de potencial en un área determinada usando una extensión.

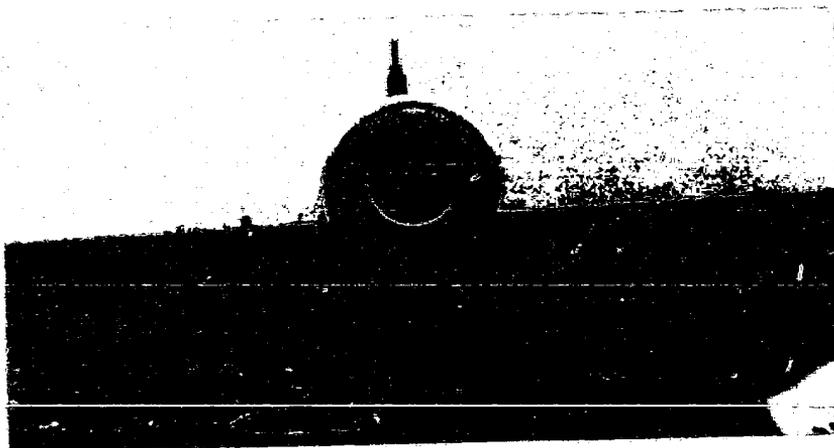
La designación de construcción es tal, que otros tipos de electrodos de referencia, tales como zinc o calomel, pueden ser instalados fácilmente. Esto permite llevar a cabo un reacondicionamiento, en servicio, rápido, eficiente y económico.

#### Datos técnicos:

Dimensiones	10 cm de diámetro, 22.5 cm de longitud, mango de 12.5 cm de longitud y 4 cm de diámetro.
Peso en aire	2.5 Kg
Peso en agua de mar	0.85 Kg

Indicador de impedancia  
de entrada                      5 Megohmio por volt  
Máxima profundidad de  
uso                                350 m (1000 pies)

En la fotografía No. 5 se muestra el equipo antes des-  
crito.



Fotografía No. 5 Bathicorómetro Bom-105

## V. DESCRIPCION DE LOS METODOS DE INSPECCION

En los capítulos anteriores se han descrito los principios y fundamentos que gobiernan a las pruebas no destructivas en la inspección subacuática, asimismo se describió el equipo que es usado en la realización de dichas pruebas, es por lo tanto que a continuación se presenta la secuencia a seguir en cada uno de los métodos de prueba.

### V.1 Partículas Magnéticas.

Secuencia para el método de puntas.

#### a) Chequeo del equipo.

- La lámpara de luz negra deberá tener un poder - de 80 lux a una distancia de 30 cm (1 pie) y -- una frecuencia de 3600 Aº
- Las puntas deberán tener una corriente de 125 - A-pulgada de separación, (esto es para una placa de acero de 1/2 a 1 pulgada de espesor) y un voltaje de 9 a 12 V, los extremos de las puntas deberán ser de plomo con un mínimo de 1 pulgada de espesor.

- Para checar el poder en amperes tiene que hacer se presión en una placa de acero con las puntas y medirse el amperaje con un amperímetro de gancho, este poder debe ser constante por más de 10 segundos.
- Checar los controles y las lecturas sobre el medidor para la posición de máximo poder.
- El porcentaje mínimo de tinta en solución deberá ser del 2%, esta solución se prepara con agua fresca de mar.

#### b) Limpieza

Deberá realizarse una limpieza de la zona de trabajo hasta metal blanco, en el caso de soldaduras el área mínima de limpieza será de dos pulgadas a cada lado. El buzo deberá efectuar una inspección visual después de la limpieza, con el objeto de localizar algún posible defecto.

#### c) Procedimiento

- Dejar que la lámpara de luz negra se caliente -- por un mínimo de tres minutos.
- Poner las puntas lo más cercano a la soldadura, de forma que las puntas atraviesen la soldadura.

- Cuando la corriente está puesta se aplica la tin  
ta.
- Tan pronto como la tinta se ha aplicado (5 segun  
dos aprox.) se corta la corriente y entonces se  
mira el área lo más cerca posible con la lámpara  
recordando cualquier indicación, después se bo--  
rra manualmente.
- Se colocan las puntas en forma cruzada a la ante  
rior y se repite la operación.
- Si la indicación antes observada es la misma, en  
tonces tendremos una indicación verdadera.
- La falla detectada debe ser marcada y fotografía  
da.
- Hecho esto se va a la siguiente posición con una  
pulgada de traslape y se repite la operación has  
ta terminar el trabajo.
- No se debe dejar encendida la corriente por más-  
de 30 segundos ya que se dañaría el equipo.
- Todas las fallas detectadas deben ser reportadas.  
Este reporte debe contener un dibujo con las di-  
menciones y localización de las fallas.

## Secuencia para el Método de Bobinas

El procedimiento de inspección es igual al descrito en el método anterior, sólo que presenta las siguientes variaciones.

La corriente mínima que se requiere es de 200 A por -- pulgada de diámetro nominal para espesores de pared de 1/2- a 1 pulgada; por ejemplo, para una tubería de 12 pulgadas - de diámetro se necesita una corriente de 2400 A; el trans-- formador nos da 1200 A por cada vuelta o espira del cable, - así que podemos agregar espiras hasta obtener la corriente- deseada, si ésta se excede, hay un control en el transforma- dor para ajustarla.

La primera espira debe ser colocada a una distancia mí- nima de 2 pulgadas y no mayor de 4 pulgadas de la zona de - trabajo, ya que la primera pulgada se considera zona muerta y no es posible la inspección en ésta.

La corriente se aplica continuamente durante la inspec- ción. La espira sigue la forma de la pieza y la tinta pue- de aplicarse alrededor de ésta.

## V.2 Ultrasonido

Debido a que el equipo ultrasónico utilizado en la me-

dición de espesores es muy preciso y de fácil manejo su secuencia de operación se reduce a una buena limpieza de la pieza de prueba y calibración correcta del equipo, es decir, es necesario efectuar un acoplamiento correcto y realizar una calibración adecuada para asegurar que las lecturas sean confiables.

La calibración del equipo se logra por medio de un bloque escalonado (step block).

Todas las lecturas efectuadas deberán ser reportadas haciéndose hincapié en cualquier anomalía detectada indicando su localización.

### V.3 Secuencia para la Medición de Potencial Catódico.

El Bathicorrómetro al igual que el equipo ultrasónico-CA Probe SP-200, es de fácil manejo y alta precisión. Su secuencia de manejo es la siguiente:

- Efectuar sobre la pieza de prueba una limpieza adecuada con el fin de garantizar un buen contacto eléctrico.
- Efectuar una correcta calibración del equipo antes y después de su uso, con el propósito de tener lecturas confiables.

- Todas las lecturas deberán ser reportadas, indicando cualquier anomalía.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo realizado se llegó a las siguientes conclusiones:

- La correcta aplicación de los métodos de inspección, antes mencionados, nos darán resultados confiables - que nos ayudarán a determinar el estado actual de - una estructura marina y a fundamentar las acciones - a realizar con el fin de garantizar su integridad.
- Los equipos descritos anteriormente son de fácil manejo y alta precisión, por lo que resultan de gran ayuda en la inspección subacuática de estructuras - marinas.

En resumen, una inspección satisfactoria y confiable - tiene como requisitos:

- a) Utilizar el equipo adecuado.
- b) Efectuar una limpieza adecuada en la zona de prueba.

- c) Efectuar siempre, antes de comenzar un ensayo, la calibración del equipo, utilizando patrones de referencia.
- d) La inspección deberá efectuarse por un técnico calificado.
- e) Realizar un reporte con la mayor información posible.
- f) Marcar todos los defectos encontrados.

De las técnicas de inspección mencionadas, las de mayor uso son, la inspección por partículas magnéticas, para la determinación de defectos o daños y la inspección ultrasónica, para la medición de espesores.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Ayner. "Introducción a la Metalurgia Física"  
2a. Edición Mc Graw Hill. 1979
- Metals Handbook. "Nondestructive Inspection"  
Vol. 11. 8a. Edición, ASM 1976
- Stolt Nielsen Seaway. "Underwater Inspection"
- José A. Echeverría G. "Inspección Ultrasónica".  
Tesis, UNAM 1982.
- Giuliodori M. A. "Método de Ensayo por Partículas  
Magnéticas".  
Proyecto Multinacional de Tecnología de Materiales.  
Buenos Aires, Argentina. 1981.
- Apuntes del Curso "Programa de Capacitación para Inspectores Subacuáticos."  
I.M.P. 1982.