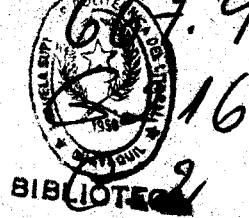
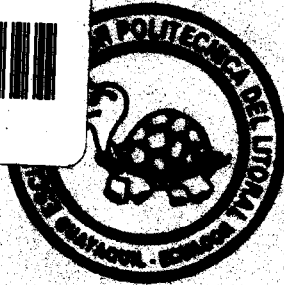




\*D-13818\*



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica**

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

**"IMPLANTACION IONICA  
MEDIANTE ELECTRODEPOSICION  
PARA RECONSTRUCCION DE PARTES  
DE MAQUINARIA"**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO MECANICO**

**Presentada por:**

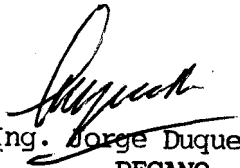
**LUIS FERNANDO GARCIA GUEVARA**

\*\*\*\*\*

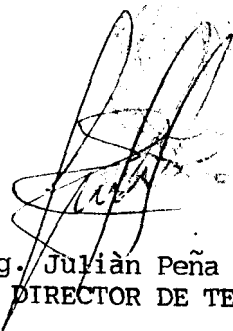
**GUAYAQUIL**

**ECUADOR**

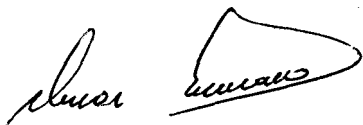
**AÑO  
1993**



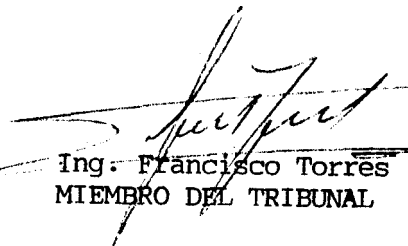
Ing. Jorge Duque Rivera  
DECANO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



Ing. Julián Peña Estrella  
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Omar Serrano  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Francisco Torres  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, le corresponden exclusivamente al autor; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamentos de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)



---

Luis Fernando García Guevara

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Julián Feña, Director de Tesis por su valiosa ayuda en la elaboración del presente trabajo.

A mi padre, por su constante preocupación y ayuda.



## DEDICATORIA

À mi esposa

À mis hijos

À la memoria de mi madre

## RESUMEN

El proceso de implantación iónica, es un sistema móvil para adicionar metal a metal. El proceso es en realidad un tipo especial de metalización con una mejor adhesión, menor porosidad y una mayor precisión en el control de espesor cuando se compara con el sistema spray, el de inflamación con llama o con cualquiera de los tipos de metalización con plasma. A diferencia de las técnicas de metalización o soldaduras tradicionales, en el proceso de implantación iónica no se genera ninguna clase de calor. Por lo anterior la pieza de trabajo no se ve afectada por esfuerzo interno alguno y el resultado es que sobre la pieza no se crea distorsión térmica o de rompimiento.

En apariencia el proceso de implantación iónica, trabaja como un soldador de arco. Una fuente de potencia DC con 2 electrodos flexibles, uno que va a la pieza de trabajo y otro que toma la forma de herramienta para la deposición, es la parte básica y fundamental del proceso. Anodos de diferentes tamaños y formas (redondos, planos, cóncavos y convexos) son utilizados. Los ánodos son recubiertos con un material absorbente y luego saturados con el electrolito apropiado. Dichos electrolitos o soluciones pueden ser también fluidos por el área de

contacto cuando es necesario realizar una operación mecánica.

La conexión positiva de la fuente de potencia DC se sujeta por medio de un punzón de acople a un ánodo especial de grafito, conformado así: la herramienta de trabajo; y la conexión negativa es sujeta con una pinza sobre la pieza que se desea trabajar; el circuito eléctrico se completa cuando la herramienta es movida sobre la pieza de trabajo o cuando la pieza de trabajo es movida bajo la herramienta. Cuando el circuito está cerrado, el metal se deposita desde la solución líquida al metal base. La tasa de deposición es muy rápida, algunas veces asciende a 0.002" de espesor por minuto.



	Pag.
RESUMEN .....	VI
INDICE GENERAL .....	VIII
INDICE DE FIGURAS .....	XII
INDICE DE ABREVIATURAS .....	XIII

**CAPITULO I**

1.1 Descripción del Proceso .....	14
1.2 Fuentes de Ionización y Evaporación .....	18
1.2.1 Vaporización por Calentamiento de Resistencias .....	19
1.2.2 Vaporización por un Haz Electrónico .....	21
1.2.3 Fuentes de Electrodeposición .....	21
1.2.4 Implantación Iónica Reactiva .....	22
1.2.5 Ionización por Inducción de Radio Frecuencia .....	22
1.3 Control del Proceso .....	23
1.3.1 Densidad del Plasma .....	25
1.3.2 Temperatura del Substrato .....	29
1.4 Descripción del Proceso de Electrodeposición .....	30



1.4.1 Usos y Ventajas .....	30
1.5 Requerimientos técnicos .....	32
1.5.1 Equipo .....	32
a. Fuente de Poder .....	32
b. Herramienta de Trabajo .....	33
1.5.2 Materiales .....	34
a. Soluciones .....	34
b. Cubiertas para las Herramientas .....	35
1.5.3 Accesorios .....	36
1.6 Aplicaciones de la Implantación Iónica por Electrodeposición .....	37
1.6.1 Electrónica .....	37
1.6.2 Moldeo .....	37
1.6.3 Reconstrucción Mecánica .....	38
1.6.4 Cilindros Hidráulicos .....	38
1.6.5 Aviones .....	38
1.6.6 Motores Diesel .....	38
1.6.7 Marina .....	39

## CAPITULO II

Desarrollo Experimental .....	40
Descripción General del Instrumento .....	41

<b>2.1</b>	<b>Síntesis del Trabajo</b>	<b>46</b>
	Ensayos y Pruebas Realizados	47
1.	Tintas Penetrantes	51
2.	Prueba de Ovalamiento	53
3.	Prueba de Deflexión	56
4.	Prueba de Profundidad de Rayadura	60
<b>2.2</b>	<b>Equipo a Utilizar</b>	<b>63</b>
2.2.1	Descripción General	63
2.2.2	Características del Equipo	66
2.2.3	Procedimiento de Electrodeposición	67
<b>2.3</b>	<b>Control de Variables</b>	<b>69</b>
2.3.1	Requerimientos de Reparación	69
a.	Identificación del Material	69
b.	Condición de la Superficie	70
c.	Protección o Aislamiento	71
2.3.2	Selección de Anodos	72
2.3.3	Soluciones para Electrodepósito por Contacto	76
2.3.4	Control de Espesor de Deposición	77
<b>2.4</b>	<b>Ensayos de Calidad</b>	<b>78</b>
	Control del Proceso	80
2.4.1	Ensayos no Destructivos	81

2.4.2 Control de Material en Servicio .....	83
2.4.2.1 Funcionamiento .....	83
2.4.2.2 Inspección Visual .....	83
2.4.2.3 Prueba de Adhesión .....	84
2.4.2.4 Mantenimiento de los Periscopios .....	85

## CAPITULO I I I

Disposición de Resultados .....	87
3.1 Efectos Beneficiosos .....	87
3.2 Resultados Finales .....	89

## CAPITULO IV

Conclusiones y Recomendaciones .....	91
BIBLIOGRAFIA .....	94

## INDICE DE FIGURAS

No.	DESCRIPCION	Pág.
1	Aparato de Implantación Iónica Simple .....	15
2	Aparato de Implantación Iónica de Cañón Iónico .....	26
3	Fuentes de Iones Usados para Implantación Iónica .....	28
4	Principio de la Medición de Distancia .....	43
5	Periscopio en Servicio .....	45
6	Grua Utilizada .....	46
7	Instantes en que se Realiza la Inspección del Periscopio .....	48
8	Rayaduras Observadas en el Periscopio .....	49
9	Longitud de las Rayaduras .....	50
10	Localización de las Rayaduras .....	52
11	Utilización del Micrómetro .....	53
12	Distribución de la Distancia del Gramil .....	58
13	Tomas de Profundidad con megasímetro .....	61
14	Esquema del Proceso de Electrodeposición .....	65
15	Máquina SELECTRON POWER PACK .....	66
16	Anodo Utilizado .....	73
17	Prueba de Líquidos Permanentes .....	82

## INDICE DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Área
<b>arc</b>	Arco
<b>DC</b>	Densidad de Corriente
<b>E</b>	Distancia
<b>H</b>	Altura
<b>I</b>	Amperaje
<b>sin</b>	Senó
<b>tg</b>	Tangente
	Denominación para Ángulo

# CAPITULO I

## INTRODUCCION TEORICA

### 1.1 DESCRIPCION DEL PROCESO

La implantación iónica es típicamente realizada en un sistema de descarga de gas inerte similar a aquel usado en la deposición electrolítica, excepto que el sustrato es el cátodo sobre el cual se deposita y la superficie a ser bombardeada generalmente tiene una geometría muy compleja.

Un esquema del sistema típico para muchas operaciones de implantación iónica, se muestran en la figura 1. Básicamente el aparato de implantación iónico está compuesto de una cámara de vacío y un sistema de bombeo, el cual es típico de cualquier unidad de deposición convencional por vacío. Existe también una fuente de vapor de película atómica y un ingreso de gas inerte. Para una muestra conductiva la pieza de trabajo es el electrodo de alto voltaje, el cual es aislado del sistema circundante. En la situación más generalizada, el sostenedor de la pieza de trabajo es un electrodo de alto voltaje y los materiales ya sean conductivos o no para deposición, están anexados a

Utilización de una descarga dc de gas y un filamento evaporador

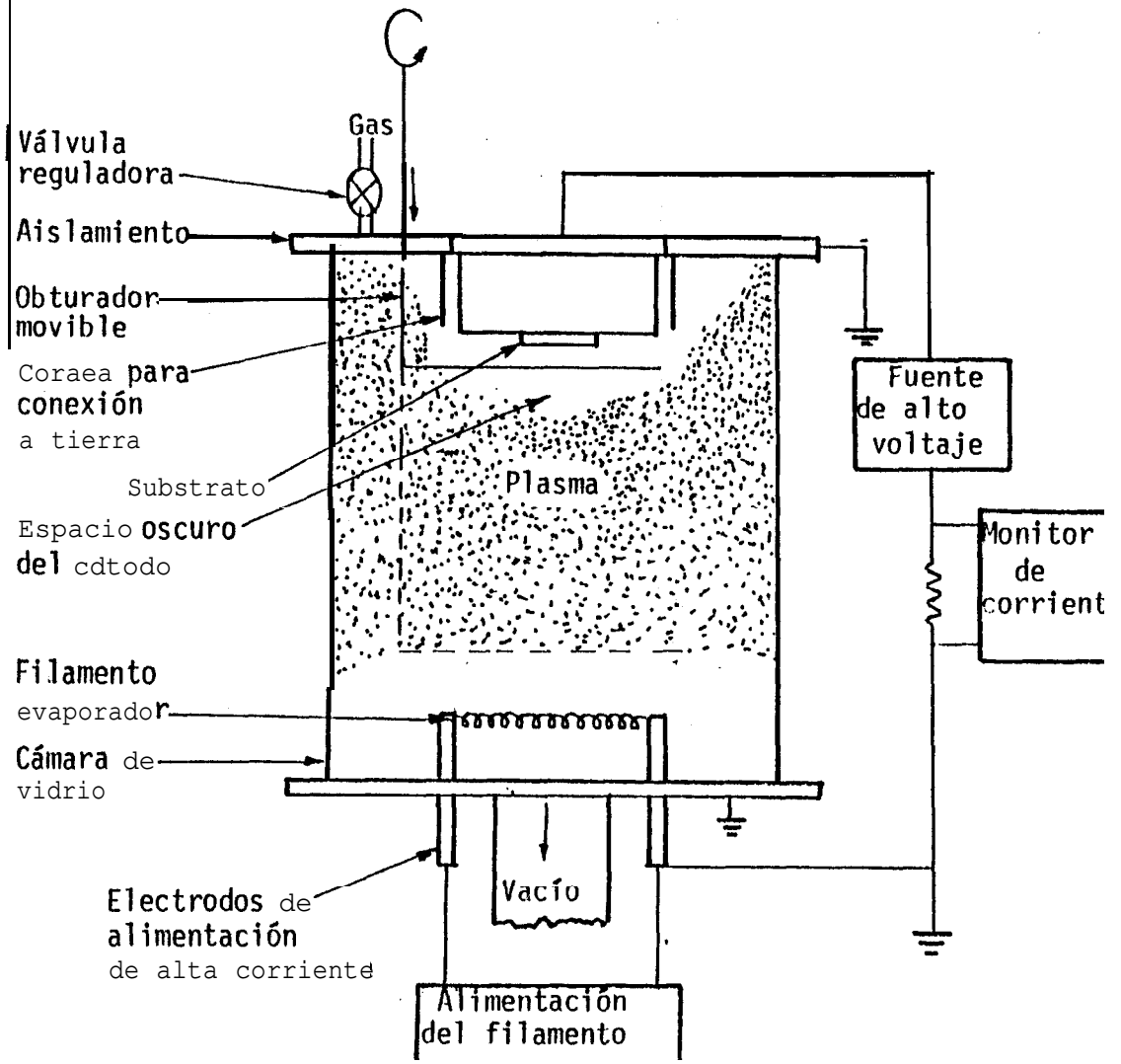


Fig. No. 1.- Aparato de Implantación Iónica simple

él. Una vez que el espécimen o la pieza a ser cubierta, es acoplada al electrodo de alto voltaje o al sostenedor y la fuente de vaporización es cargada con el material de recubrimiento el sistema es sellado completamente y la bomba de vacío reduce la presión a un rango de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  pascales.

Cuando se ha logrado el vacío deseado, la cámara es rellena con argón a una presión aproximada de 1 a 0.1 pascales. El flujo de argón es controlado por una válvula reguladora y puede ser controlado luego por un baffle que se coloca entre la cámara de trabajo y el sistema de vacío. En este momento se introduce un potencial de 3 a 5KV a través del electrodo de alto voltaje (el espécimen o el sostenedor del espécimen) y la tierra del sistema. Es decir el arco se forma entre el electrodo de alto voltaje que puede ser tanto la pieza de trabajo y la tierra del sistema.

Una descarga eléctrica luminosa ocurre entre los electrodos, lo cual da como resultado que el espécimen o la muestra sea bombardeada con iones de argón de alta energía que se producen en la descarga, lo cual es equivalente a un bombardeo electrónico. La corriente es el flujo de iones de argón que son



bombardeados sobre la superficie de la muestra a ser cubierta, eliminando por remoción de cualquier contaminación superficial.

El paso de limpieza generalmente puede ser terminado en pocos minutos y provee una superficie de trabajo limpia para recibir a los átomos a depositarse y a los iones. La fuente de recubrimiento es entonces energizada en la descarga del arco. El proceso anterior provee a la pieza de trabajo con un bombardeo uniforme de iones y el vapor del recubrimiento es distribuido juntamente con el flujo de deflexión de iones, lo cual permite comprender la alta potencia de deposición de esta técnica lo cual a su vez da como resultado recubrimiento uniforme aún en las variaciones del contorno de la superficie de la pieza de trabajo. Para que se forme la película, la razón de deposición debe exceder a la razón de erosión de los iones, y el bombardeo iónico puede o no ser continuado después de que la región interfacial se ha formado.

Después de que se ha formado la región interfacial, el recubrimiento puede continuar en una razón de deposición más baja si se desea mantener los efectos

del bombardeo iónico sobre la película. Las propiedades de la película pueden ser variadas controlando los potenciales del substrato y la razón de bombardeo de iones o átomos en la deposición. El recubrimiento puede ser depositado a razones mucho más altas o en vacío si los efectos del bombardeo o si las propiedades de la película no son deseadas.

Para piezas de trabajo no conductoras, la diferencia de potencial puede ser producida entre el ánodo y el sustentador de la pieza de trabajo dando como resultado un sistema uniforme para desarrollar el plasma de argón, el cual es la principal fuente para bombardeo de iones.

Una amplia variación en la geometría de los sustentadores y aún en los sistemas complejos, ha sido desarrollado tanto para materiales conductivos como no conductivos y el sistema está diseñado para una aplicación única en una serie específica de piezas de trabajo, es decir para cada forma de pieza de trabajo generalmente hay un sistema desarrollado.

## 1.2 FUENTES X X : IONIZACION Y EVAPORIZACION

Dependiendo del tipo de recubrimiento a ser realizado y de las propiedades deseadas de la pieza o parte a ser electrodepositada iónicamente, hay una amplia gama de técnicas de evaporización o de ionización que están disponibles. Las principales se resumen a continuación:

1.2.1 Vaporización por calentamiento de resistencia. Para la aplicación de esta técnica, se usa tanto un filamento metálico refractario que contiene el metal a ser depositado o un recipiente metálico que contiene dicho metal. Esta técnica está limitada a materiales de recubrimiento con un punto de fusión a una temperatura menor a 1500 oC (2730 oF). La técnica también tiene limitaciones cuando se evaporan aleantes o compuestos, aunque se han reportado algunos métodos para sortear estas dificultades, con el desarrollo del método de evaporación "flash".

En la evaporación "flash" el material a ser recubierto está en forma pulverizada y es alimentado continuamente a un recipiente

precalentado. La temperatura en el recipiente es mantenida tan alta como sea necesaria para evaporar por lo menos los componentes volátiles del material a ser usado. Los constituyentes del polvo cuando entran en contacto con el recipiente, se evaporizan instantáneamente, de manera que se previene cualquier descomposición parcial o fraccional del material a usarse como recubrimiento. El material pulverizado es alimentado dentro del recipiente continuamente, mediante una evaporización instantánea, una reacción de evaporización flash. De manera que no se acumule material en el recipiente y el vapor producido provee un recubrimiento a la superficie que generalmente tiene la misma composición que el material de recubrimiento original. El parámetro a ser controlado durante este tipo de evaporación flash es el tamaño de la partícula, la razón del suministro del polvo al recipiente donde se realiza la vaporización, así como también la temperatura dentro del recipiente precalentado donde se realiza la vaporación del material.

### 1.2.2 Vaporización por un haz electrónico.-

Materiales de alto punto de fusión, con temperaturas de hasta 3500 oC. (6330 oF), han sido evaporados en sistemas de implantación iónica usando cañones de haces electrónicos. El cañon de haz electrónico, es la principal fuente de evaporación de muchos sistemas comerciales y experimentales, sin embargo debido a que es necesario un vacío bajo la operación del cañon electrónico, el sistema que usa el haz electrónico debe tener un baffle conductor para separar el área del plasma del área de alto vacío del cañon electrónico.

### 1.2.3 Fuentes de electrodeposición.- Otra fuente

para deposición de material en un sistema de implantación iónica, es el uso de electrodeposición por contacto. Utiliza tanques de inmersión, donde se coloca una solución electrolítica concentrada, y un ánodo insoluble de grafito; operando a voltajes bajos. A diferencia de los métodos tradicionales, donde la adherencia del material se realiza en forma uniforme; mediante esta técnica se puede obtener una deposición localizada del material sobre la pieza a trabajar.

**1.2.4 Implantación iónica reactiva.**- En esta técnica, un gas reactivo se introduce dentro del sistema de electro implantación iónica en cantidades controladas. El gas reactivo, cuando se introduce dentro del plasma, sufre una disociación y ionización de los átomos de las moléculas del gas reactivo. En situaciones donde se desea recubrimiento de aleaciones o compuestos, la composición del recubrimiento puede mantenerse por un control cuidadoso de los parámetros del proceso, particularmente de la concentración del gas reactivo. Este sistema ha sido usado para deposición de nitruros seleccionados, carburos, silicios y óxidos.

**1.2.5 Ionización por inducción de radio frecuencia.**-- Es posible el introducir una bobina de inducción descubierta directamente en la descarga incandescente sin producir un arco, si la frecuencia de operación ha sido reducida alrededor de 75 Khz. Esto puede ser logrado por el uso de un generador de inducción, reduciendo este nivel de la frecuencia de operación normal metalúrgica desde alrededor

de 450 Khz. a la expresada anteriormente de 75 Khz. La frecuencia de 450 Khz. no puede ser usada en implantación iónica, porque el arco muy severo que se forma entre las bobinas y el plasma podría afectar al proceso en general.

Otras fuentes menos usadas de ionización incluyen: a) la formación de evaporación por inducción y calentamiento con alta frecuencia; b) el uso de filamentos emisores de electrones para formar un triodo, un sistema de evaporación iónica; y c) el uso de una fuente de gas iónico, similar a aquella usada en la implantación iónica; en la cual el ión es acelerado a través de un sistema apropiado de aceleración (una deposición en vacío iónico).

### 3 CONTROL DE PROCESO

Debido a que hay generalmente un gran número de variables interactivas en el proceso de implantación iónica, es a menudo necesario el tener un control más extensivo del proceso que el usado en otros procesos en vacío. Esto es particularmente cierto cuando se usan gases reactivos para formar recubrimientos

compuestos. Las variables del control del proceso en la implantación iónica incluyen:

\* Proceso de prelimpiado y manipuleo

\* Proceso de predeposición IN-SITU

Remueve contaminantes residuales

*Incluye los parámetros de control de limpieza por electrodeposición*

Control de temperatura del sustrato

\* Proceso de deposición:

Temperatura del sustrato.

Fuente de vapor, átomos/unidad de tiempo

Proceso de bombardeo (iones y neutrales)

Especies o probetas.

- Distribución de energía

- Razón de alimentación del polvo del material a ser electrodeposicionado.

Generalmente, la predeposición y las variables de deposición, no son controladas directamente, sino que son reproducidas y mantenidas constantes por parámetros de control del proceso como por ejemplo: la densidad de corriente del cátodo, el voltaje del



cátodo la presión de la cámara, la temperatura del sustrato, la geometría del elemento y los gases residuales contaminantes.

Recientemente el uso de implantación iónica en vacío, donde la fuente de bombardeo iónica es un cañón iónico y el sustrato está dentro en un moderadamente buen vacío, esto ha permitido la disociación de los parámetros de bombardeo iónico de los parámetros de la deposición. Esto ha conducido a un proceso mucho más controlado, donde las propiedades de la interfase y del recubrimiento son muy sensitivas al proceso. La figura 2 muestra este sistema con un cañón iónico usando un ión KAUFMAN como fuente.

**1.3.1 Densidad del plasma.**— Es importante cerca de la superficie del sustrato, y especialmente en la técnica de descarga directa del arco, la densidad del plasma puede variar grandemente debido a la geometría del sustrato. La figura 3 muestra algunas fuentes enriquecidas de plasma que incrementan la densidad del plasma por técnicas diferentes que la ionización desde electrones secundarios que surgen del bombardeo iónico, como por ejemplo

SISTEMA DE IMPLANTACION IONICA. DE CANON IONICO, USANDO UNA FUENTE DE IONES KAUFMAN Y UN FILAMENTO COMO FUENTE EVAPORADORA

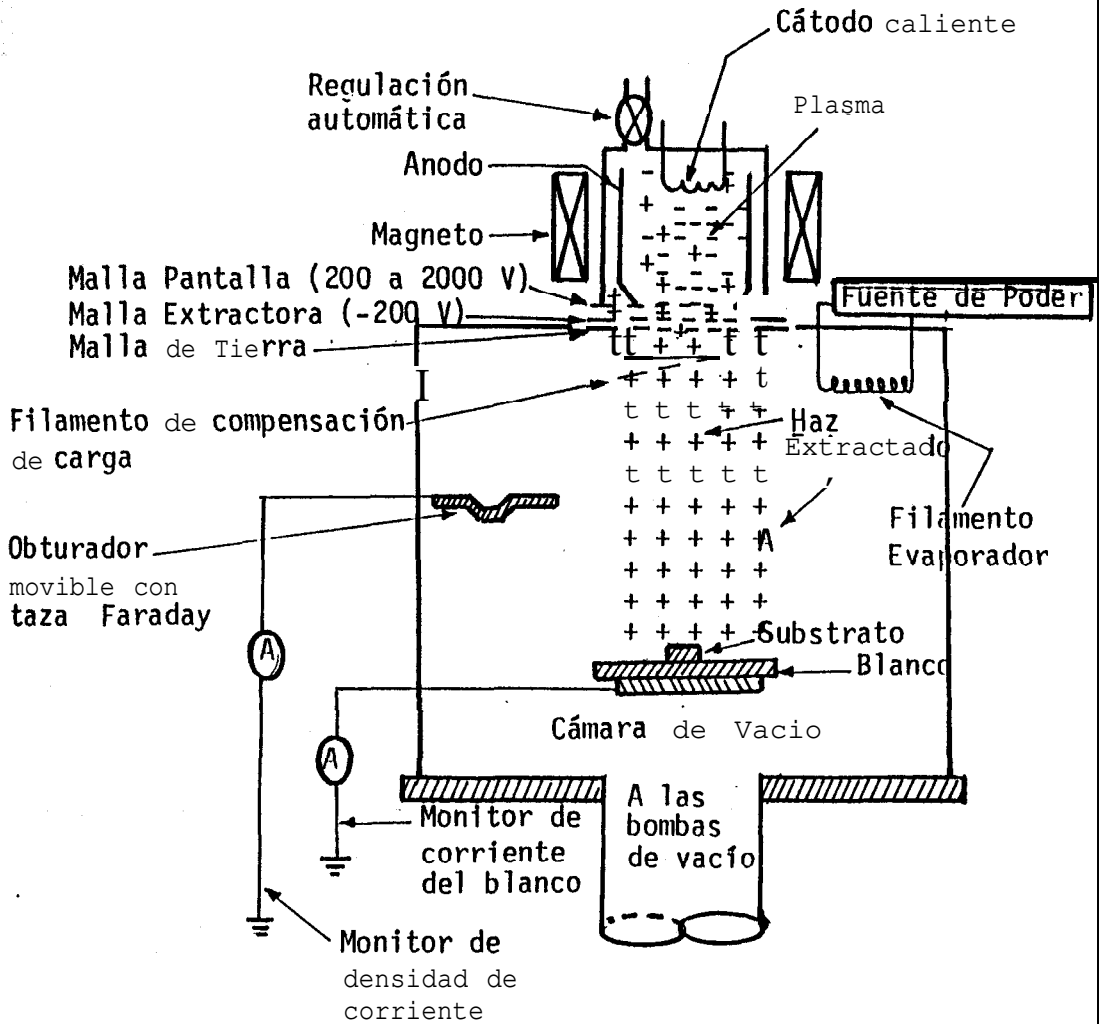
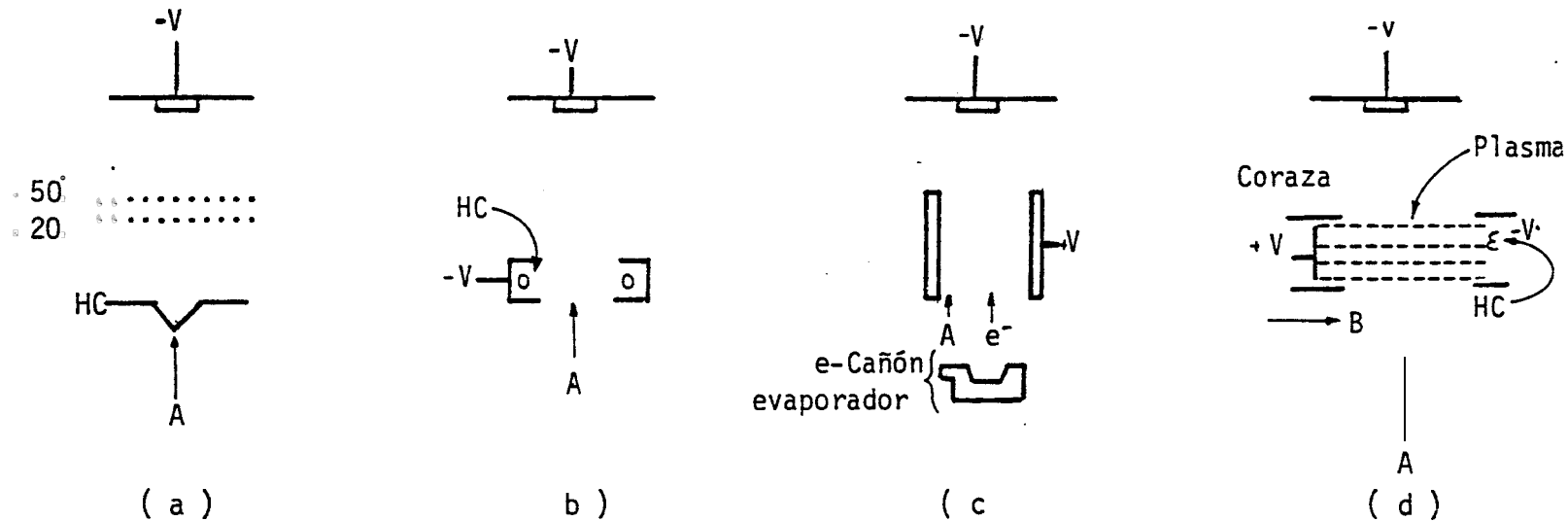


Fig.2.- Aparato de Implantación Iónica de Cañón Iónico

en la técnica de descarga directa o continua. En la figura 3 (a) (b) y (d) los electrones ionizados son generalmente los que provienen del filamento caliente. En la figura 3 (d) la longitud del camino del electrón es incrementado por el uso de un pequeño campo magnético y la forma es similar a aquella de electrodeposición iónica de triodo. En la figura 3 (c) los electrones secundarios emitidos por el haz de electrones o proceso de haz de electrones son extraídos hacia el electrodo positivo y crean la ionización en la región superior del corazón de la evaporación.

La región más importante en el plasma iónico es la llamada región negra cerca del cátodo. En esta región, en la cual hay la máxima caída de potencial en el plasma. De modo que se obtiene la más alta aceleración hacia el cátodo o pieza de trabajo. El tamaño de esta región negra puede ser expandido o contraído por el incremento o decremento de la presión del gas usado para formar el plasma.

En la figura 1, un sustrato conductivo



( a ) Filamento caliente emisor de electrones con malla aceleradora. ( b ) Filamento emisor de electrones. ( c ) Electrodo positivo cilíndrico para atraer electrones secundarios del corazón de la evaporación. ( d ) Cátodo caliente con plasma confinado magnéticamente. El potencial del substrato extrae iones del plasma a la superficie bombardeada. A, átomos de la fuente; B, campo magnético; HC, cátodo caliente.

Fig. No. 3 .- Fuentes de iones usados para implantación iónica.

eléctricamente se asume que existe. Si el sustrato por el contrario es un aislante eléctrico, el polo negativo puede ser aplicado usando potencial de radio frecuencia, similar al usado en la electrodeposición por radio frecuencia, o se puede usar una grilla de alta transmitancia situada frente a la superficie del sustrato. En un sistema de cañón de iones con un filamento neutralizador también puede ser usado para bombardear eléctricamente superficies aisladas.

**1.3.2 Temperatura del sustrato.**— En una operación típica de implantación iónica por medio de corriente directa, la potencia de entrada puede ser de algunos wattios por centímetro cuadrado. Esto puede llevar a una alta temperatura del sustrato si el poder de disipación del calor de esta parte es pobre. Alguna fracción de la temperatura puede ser disminuida, implementando el poder de disipación de potencia, usando por ejemplo, el bombardeo iónico pulsante, pre-limpiado para reducir la necesidad de limpiado por electrodeposición, o cambiando el espectro con

energía, para incrementar la eficiencia de la electrodeposición. La alta temperatura del sustrato también puede ser aliviada mediante el uso del proceso de descarga en el soporte, donde el sustrato está a un potencial aún más negativo y los electrones necesarios para apoyar la descarga vienen desde un filamento caliente auxiliar de tungsteno (figura 3 d).

#### 1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN

La electrodeposición de contacto es un método de deposición de metal desde una solución electrolítica concentrada con el uso de tanques de inmersión. La solución se mantiene en un material absorbente sobre un electrodo inerte portátil (ÁNODO) de la fuente de corriente continua. El cable del cátodo de la fuente de poder se conecta a la pieza a trabajar; el circuito galvánico se completa y el material es depositado por contacto del ánodo con el área a trabajar. Se requiere un movimiento constante entre el ánodo y la pieza de trabajo para producir un depósito de alta uniformidad.

1.4.1 Usos y ventajas.— La electrodeposición puede

ser utilizada efectivamente en áreas de tamaño pequeño o mediano para realizar las mismas funciones que un recubrimiento por baño, por ejemplo, protección contra corrosión, resistencia al uso y reparación de partes de maquinaria. El proceso no se recomienda para reemplazar al recubrimiento por baño o por inmersión; sin embargo, las siguientes son algunas de las ventajas que hacen de la electrodeposición por contacto superior en algunos campos de aplicación:

- a. El equipo es portátil; la implantación puede en ocasiones realizarse IN SITU.
- b. Puede reducir el operativo de desarmado de la maquinaria requerida.
- c. Permite el recubrimiento de áreas pequeñas de grandes componentes desarmados.
- d. Por implantación vía contacto, puede a veces eliminarse el maquinado de acabado o pulido de la superficie tratada.
- e. Las partes dañadas o defectuosas de una superficie pueden ser retocadas.

## 1.5 REQUERIMIENTOS TECNICOS

Para electrodeposición por contacto, los requerimientos técnicos son los siguientes:

**1.5.1 Equipo.-** El equipo deberá contener características de seguridad de acuerdo con el requerimiento de la norma MIL STD-454. La operación puede crear riesgos al personal y al equipo de trabajo.

**a) Fuente de poder.-** Las fuentes de poder para la electrodeposición por contacto están disponibles en el rango de 0 - 300 amperios, y entre 0 y 50 voltios de corriente continua. Estas fuentes de poder operan con una entrada de 115 a 230 voltios 60 Hz. mono o trifásico A.C.

Los tamaños intermedios 25 a 100 amperios de salida máxima son los que se usan más comunmente. Las unidades en este rango son portátiles, pesan menos de 150 libras y pueden proveer de la potencia requerida para la mayoría de los tipos de trabajo de astillero y



de a bordo. Por esta razón, una unidad en el rango entre 60 y 100 amperios se recomienda para un equipo básico de electrodeposición por contacto. Aún cuando la demanda de trabajo requiere de una unidad adicional mayor o menor, una unidad del tamaño de la recomendada siempre será útil.

Las características que deben ser partes integrales de una fuente de poder son:

- a. Instrumentación (amperímetros y voltímetros)
- b. Protección contra sobrecarga.
- c. Switch de cambio de polaridad.

**b). Herramientas de trabajo.**— Las herramientas de electrodeposición por contacto consisten de un puntero con coraza conductora, aislada por seguridad del operador y de un ánodo insoluble normalmente de grafito de alta calidad. Como se genera calor considerable durante las operaciones de recubrimiento, es necesario proveer medios de enfriamiento de la herramienta de trabajo. Los manubrios de las herramientas de plateado tienen aletas

enfriadoras para disipar el calor; en algunos casos las herramientas más grandes pueden requerir inclusive el uso de soluciones de recubrimiento o de agua como agentes enfriadores. Los ánodos de grafito son quebradizos y no prácticos para el uso en lugares donde se requiera un diámetro muy pequeño del ánodo. Para la electrodeposición de agujeros de menos de media pulgada de diámetro, o endijas delgadas o chaveteros, se recomiendan ánodos hechos de 90% de platino y 10% de iridio.

Los ánodos removibles están disponibles de los fabricantes de los equipos en un amplio rango de tamaños standard y en tres forma básicas:

- a. Ánodos cilíndricos o convexos para el electrodepósito de diámetros interiores.
- b. Ánodos cóncavos para diámetros externos.
- c. Ánodos planos (en forma de espátula).

#### 1.5.2 Materiales:

- a) **Soluciones.**— Las soluciones usadas en la

electrodeposición por contacto incluyen la preparación de soluciones para limpieza y activación de la superficie a recubrir, las soluciones de recubrimiento para deposición para metales puros o aleados y soluciones desbastadoras para remover recubrimientos defectuosos.

**b) Cubiertas para las herramientas de electrodeposición.-** La cubierta mas común es de algodón quirúrgico; es fijado al ánodo para almacenar y distribuir la solución uniformemente. El algodón solo puede usarse en trabajos que requieran poca preparación u operación de recubrimiento, o para facilitar la máxima conformación a la superficie de la pieza que se está plateando en esquinas o áreas de forma irregular. Cuando se desea una cobertura de mayor duración, se debe usar una manga de tela de algodón, dacrón, algodón, dacrón o gasa, que se deben colocar encima del algodón. En adhesión a la cubierta de algodón o gasa, se pueden usar cubiertas de dacrón, telón ó "SCOTCH BRITE" tratado como cubiertas de herramientas de recubrimiento.

**1.5.3 Accesorios.-** Dependiendo del trabajo de reparación a realizar, se requerirán otros accesorios como:

- a. Cabeza giratoria motorizada, con control de velocidad entre 0 y 400 rpm.
- b. Equipo de chorro microabrasivo, y polvo de aluminio abrasivo; No.120 a No. 600 para proveer de un buen perfil de rugosidad en la superficie a depositar.
- c. Recipientes adecuados de vidrio o porcelana para almacenar la solución.
- d. Bandejas de caucho duro para captar la solución que escurre del proceso.
- e. Solvente de limpieza, triclorhietileno, inchlorhietileno, FREON TF o similares
- f. Lana de acero.
- g. Lijas
- h. Piedras abrasivas.
- i. Materiales de aislamiento.
- j. Bomba de solución (preferiblemente tipo peristáltico para evitar contaminación)
- k. Herramienta de recubrimiento motorizada o puntero

## 1.6 AFLI CACIONES DE LA IMPLANTACION ION:ICA FOR ELECTRODEPOSICION.

**1.6.1 Electrónica.**- Remueve manchas de soldadura, deposita nickel, oro o radio sobre áreas de contacto. Corrige vacíos dentro de agujeros recubiertos. Repara líneas conductoras sobre tarjetas desnudas o ensambladas. Deposita cadmio para protección de radiofrecuencia. Mejora la vida útil de interruptores y contactores. Deposita plata. Mejora la soldabilidad sobre aluminio o acero inoxidable.

**1.6.2 Moldeo.**- Este proceso es usado en moldes para plástico, caucho o vidrio. Rellena partes astilladas; reconstruye puertas gastadas; corrige los defectos dentro de la cavidad del molde. Reconstruye guías para pasadores gastados, pasadores de expulsión, abrazaderas, anillos despojadores, etc. Mejora la resistencia a la corrosión en la cavidad durante el moldeo del cloruro de polivinilo (PVC) y en los canales de agua fría.

1.6.3 Reconstrucción mecánica.- Adiciona capas metálicas desde 500 mils, en algunos casos 0.100", sobre superficies planas, diámetros externos a internos, etc. La capa seleccionada puede proveer menor rozamiento, resistencia a la erosión y a la corrosión o mejorar otros criterios de comportamiento tales como: resistencia a la oxidación o propiedades eléctricas.

1.6.4 Cilindros hidráulicos.- Con este proceso es posible cubrir muescas o rayas sobre cilindros recubiertos en cromo sin necesidad de desensamblar. Similar aplicación existe sobre cilindros de impresoras también recubiertos en cromo.

1.6.5 Aviones.- En aviones se puede realizar reparación de las máquinas y turbinas de combustible, además reparación de fuselaje del avión y partes del tren de aterrizaje.

1.6.6 Motores diesel.- Este proceso rellena picaduras en áreas de anillos de sello. Recubre rayas sobre ejes de levas, cigüeñales,

reconstruye válvulas de vapor y sus tapas.  
Reconstruye bombas de agua evitando molestas vibraciones dentro del motor.

Son restaurados a su tamaño original alojamientos, ejes, cojinetes y otras zonas de desgaste como cilindros de bloques de motor; recuperando así piezas para su seguro servicio de funcionamiento a un costo mínimo.

**1.6.7 Marina.**- Probado para aplicaciones, con vapor de 1200 p.s.i. y supercalentado a niveles de 900o F rellena rayas en válvulas de sellos. Logra protección metálica contra la corrosión. Puede ser usado para reconstrucción de cualquiera de los ejes o apoyos mecánicos de un barco.

## CAPITULO I I

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

La Armada del Ecuador tomando en consideración las ventajas que ofrece la técnica de implantación iónica por el método de electrodeposición por contacto para reconstrucción de partes, y básicamente por el ahorro económico muy significativo que representa la utilización de esta técnica; por medio de la Dirección de Ingeniería Naval como órgano ejecutor, decidió utilizar este procedimiento para la reconstrucción de los periscopios del submarino Clase U-209 "SHYRI", objeto de este trabajo.

Las características del periscopio son las siguientes:

- MATERIAL GX4 CrNi No. 1813
- DIAMETRO EXTERIOR 180 mm
- DIAMETRO INTERIOR 164 mm
- LONGITUD TOTAL 10 990 mm
- RECORRIDO 4 550 mm
- PESO TOTAL 609 Kg

Se realizó mantenimiento correctivo: limpieza, lubricación, cambio de empaquetaduras; pero a partir de Enero de 1990 se empezó a detectar la filtración de agua



salada aún después de un mantenimiento. Por lo que se estableció que el daño se debía a fallas en el periscopio, haciendo imperiosa su reparación.

#### DESCRIPCION GENERAL DEL INSTRUMENTO

Principalmente se le utiliza como sensor para adquirir la información necesaria para efectuar movilizaciones, pudiendo ser usado además para tomar las marcaciones que se requieran para llevar la navegación.

Los periscopios están equipados con un sistema de iluminación del retículo, encontrándose también conectados a un sistema estadimétrico. También puede ser equipados posteriormente con un equipo fotográfico.

Todos los periscopios de este tipo cuentan con un indicador de marcación para la navegación del submarino; las marcaciones de control de tiro, al radar y a la mesa de graficación.

El periscopio es del tipo monocular, con cambio de aumentos (1.5X y 6X). Se desplaza con cojinetes fijos a la estructura del Submarino y es izado y arriado hidráulicamente por medio de dos pistones. El periscopio puede ser girado sin límite a cualquier posición.

Si en el submarino se ha instalado un segundo periscopio en las proximidades del anterior, para evitar que la influencia reciproca cause vibraciones durante la navegaci3n, se debe izar solamente uno de ellos.

El principio del dispositivo estadim3trico, est3 basado en la medici3n del angulo cuando se conoce o se puede estimar la base en el blanco, que est3 representada en este caso por la altura del buque observado. El resultado de la medici3n se presenta en forma digital en un indicador, independientemente del aumento utilizado en ese momento.

Se puede medir distancias hasta un m3ximo de 19.900 yardas (aproximadamente 18.200 metros 3 10 millas) la exactitud de la medici3n es de mas o menos 3%.

En la fig. No. 4 se puede ver el principio de la medici3n de distancia. Un blanco de la altura "H" aparece a una distancia "E" bajo el angulo " ".

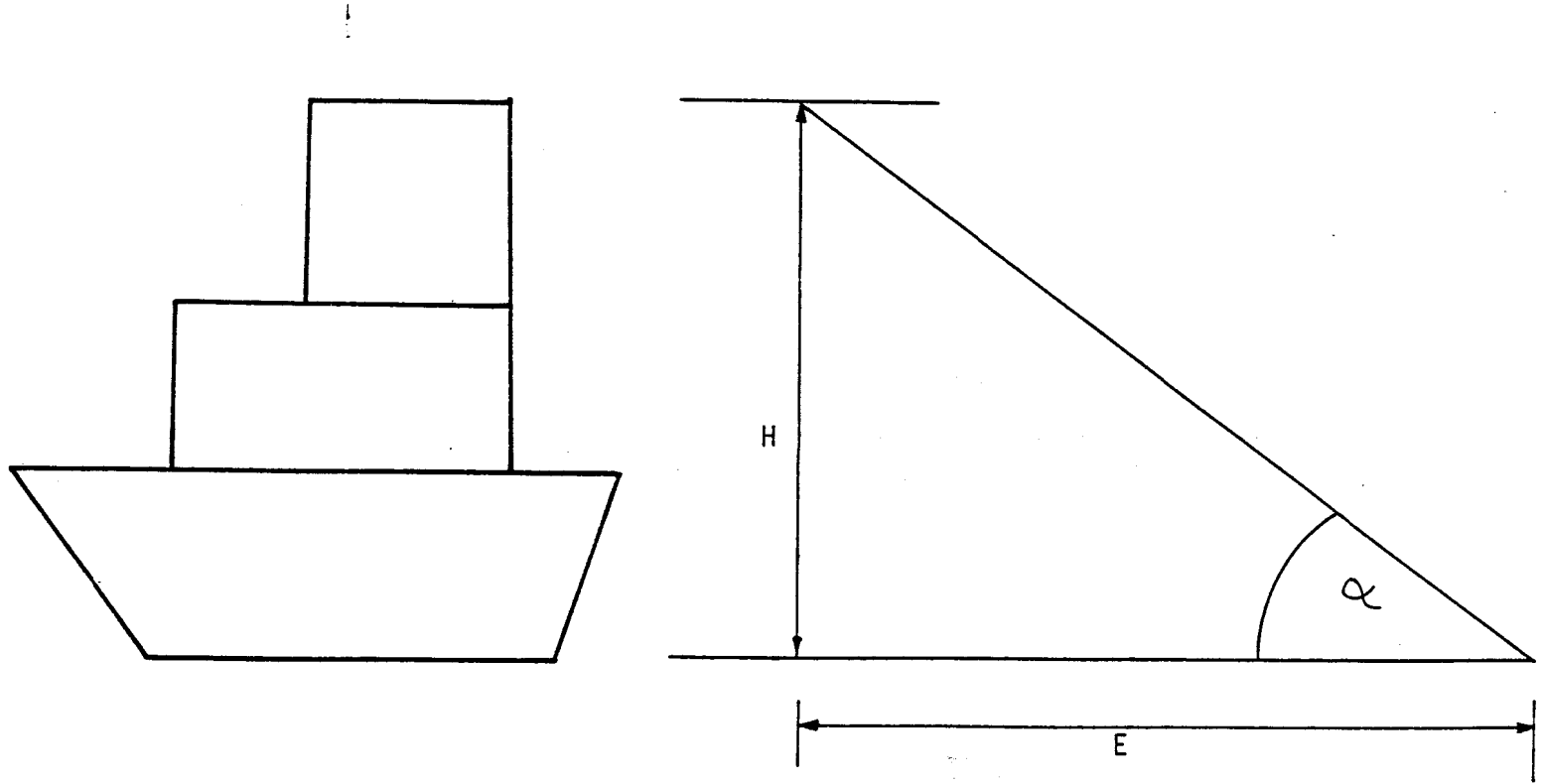


Fig. No. 1 Principio de la medición de distancia

Para este ángulo tenemos

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{E}$$

Debido a que la distancia "E" es mucho mayor que altura "H" y, por lo tanto, el ángulo " $\alpha$ " es siempre pequeño, entonces  $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \operatorname{arc} \alpha$ . Por lo tanto

$$E = \frac{H}{\operatorname{arc} \alpha}$$

La altura H del blanco se toma de los libros de identificación de buques o puede ser estimada. El valor del ángulo de medición  $\alpha$  depende del desplazamiento de los dos semi-lentes del sistema estadimétrico. El valor resultante de H y de  $\alpha$  da la distancia "E" del blanco.



'Fig. No. 5 Periscopio en **servicio**

## 2.1 SINTESIS DEL TRABAJO.

La maniobra se inicia el 26 de Septiembre de 1.991 con la varada del submarino en el Dique flotante NAPO de Astilleros Navales Ecuatorianos. Utilizando las herramientas y el personal necesario, se procedió al desmontaje de los periscopios; para llevar al sitio de operación, se necesitó una grúa de 20 tons. de capacidad con brazo extendible y un tecle (Fig. No. 6).

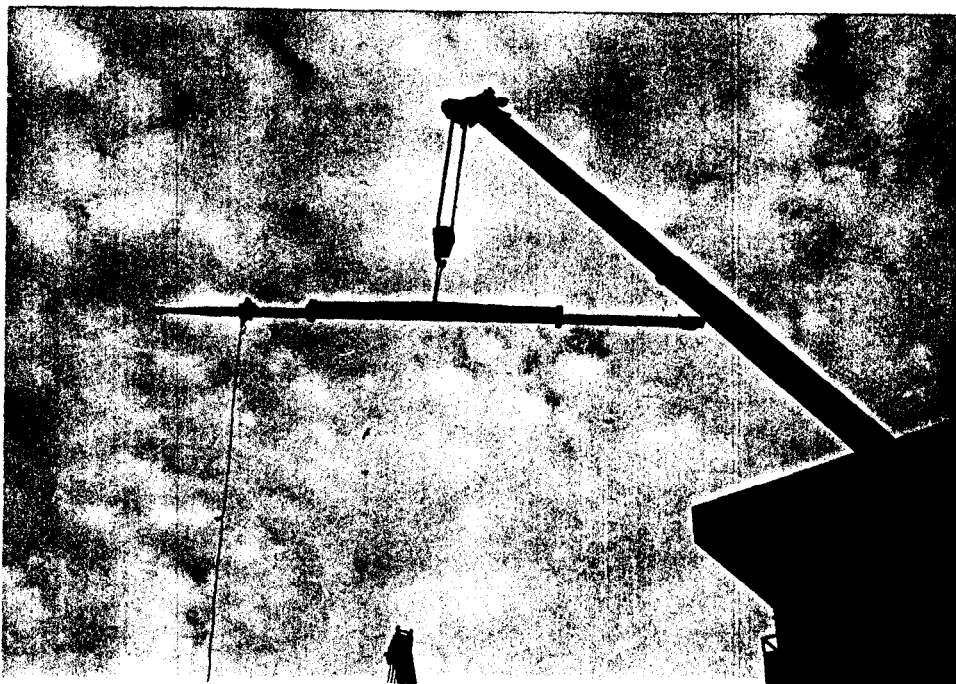


Fig. No. 6 Grúa utilizada

Se colocó el periscopio en dos bases con rodamientos cónicos de palillos, dichas bases tienen cuatro pernos graduables para regular la altura y la nivelación del periscopio.

Una vez puesto el periscopio en las bases con rodamientos, se procedió a realizar : B/c

- 1.- Ensayos no destructivos - tintas penetrantes.
- 2.- Pruebas de ovalamiento
- 3.- Pruebas de deflexión
- 4.- Pruebas de profundidad de rayaduras

1.- Por tintas penetrantes.- Con el objeto de evidenciar la longitud de las fisuras.

2.- Pruebas de ovalamiento.- Para determinar transversalmente si la sección circular ha sufrido alteraciones.

3.- Pruebas de deflexión.- Para determinar longitudinalmente el efecto de pandeo que ha sufrido el periscopio en servicio.

4.- Pruebas de profundidad de rayaduras.- Para determinar las dimensiones de las mismas.



Fig. No. 7 Instantes e n que se realiza la inspección del periscopio.

Como resultado de esta inspección se evidencia la presencia de rayaduras en sentido longitudinal en la mayoría del periscopio; las rayaduras van desde la parte superior hasta la parte central del mismo, como se aprecia en la Fig. No. 8 y 3.



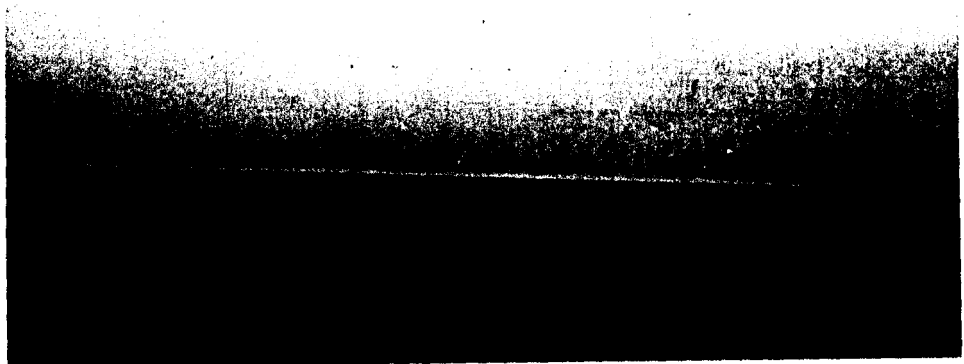


Fig No. 8 Rayaduras observadas en el periscopio.

- 50 -

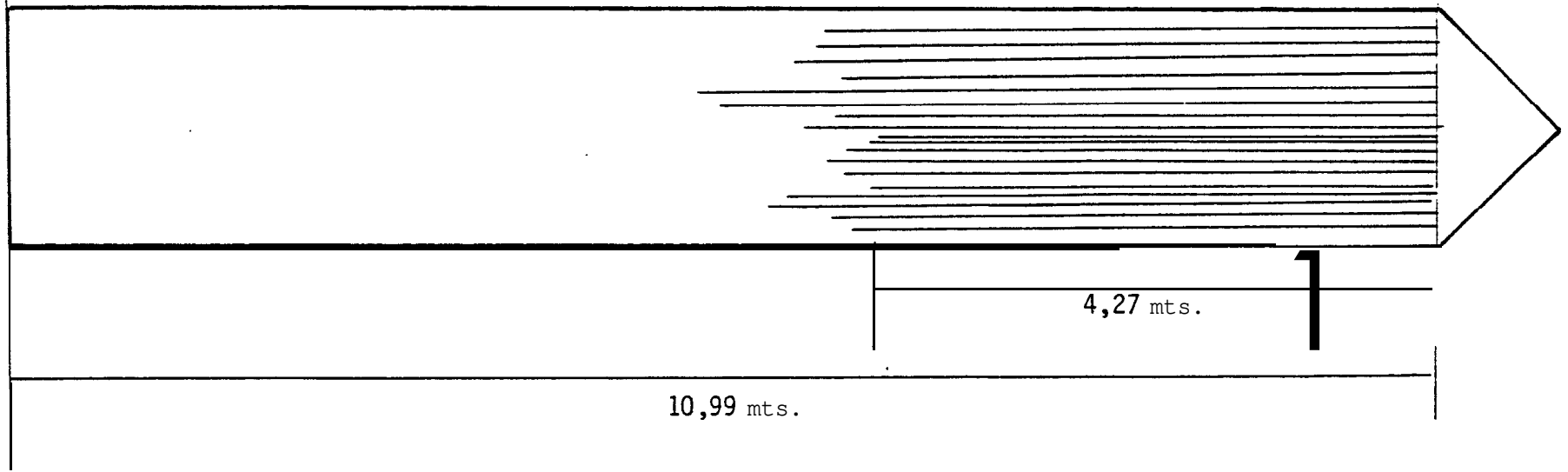


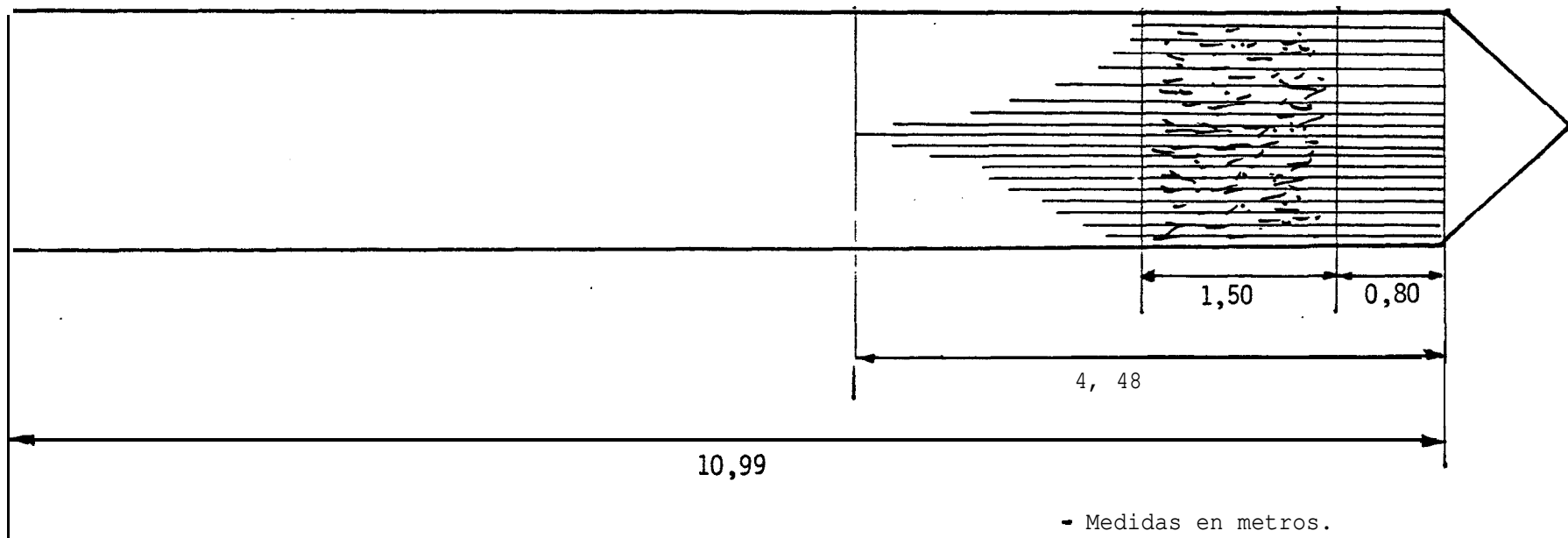
Fig. No. 9 .- Longitud de las rayaduras.

## 1.- Tintas penetrantes.

Procedimiento :

- a. Esta prueba puede ser realizada en una longitud de 1.5 metros y en el lugar donde se note mayor cantidad de rayaduras. (Fig. No. 10)
- b. Se limpia esta parte con solvente magnaflux .
- c. Se coloca la tinta roja penetrante.
- d. Se espera diez minutos y se limpia con solvente magnaflux o gasolina de aviación.
- e. Por ultimo se coloca el revelador.

Como resultado de este tratamiento, en la Fig. No. 8, se puede observar la presencia de rayaduras en el periscopio.



- Medidas en metros.
- 1,50 longitud para tintas.

Fig. No. 10 .- Localización de las rayaduras.

## 2.- Prueba de ovalamiento.-

Se realizó pruebas de ovalamiento del tubo, utilizando un micrómetro de 150 - 200 mm No. 1414 MAHR (Ver Fig. No. 11 )

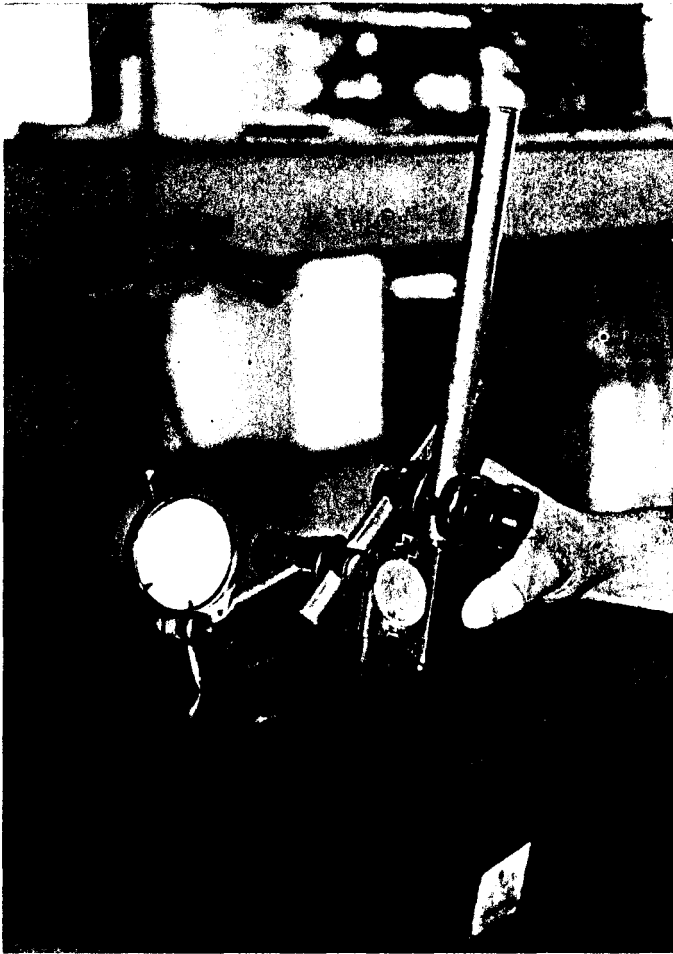


Fig. No. 11 Utilización del micrómetro MAHR para pruebas de ovalamiento.

Se hacen marcas al tubo cada 50 cm y se toman sus diámetros en éstos lugares, en forma de cuadrante, esto se tiene que hacer cada 180o. Los resultados de las mediciones se observan en la Tabla No. 1

TABLA No. I

RESULTADO DE PRUEBAS DE OVALAMIENTO

	DIAMETRO (mm)		OVALAMIENTO
	a 180°	a 360°	
1.	179.92	179.93	0.01
2.	179.92	179.93	0.01
3.	179.91	179.91	0.00
4.	179.92	179.89	0.02
5.	179.92	179.89	0.02
6.	179.93	179.93	0.00
7.	179.95	179.93	0.02
8.	179.92	179.91	0.01
9.	179.91	179.93	0.02
10.	179.94	179.93	0.01
11.	179.93	179.95	0.02
12.	179.93	179.92	0.01
13.	179.93	179.93	0.00
14.	179.92	179.91	0.01
15.	179.91	179.93	0.02
16.	179.92	179.92	0.00
17.	179.94	179.91	0.03

### 3.- Prueba de deflexión.-

El 1 de Octubre de 1.991 se realizó la prueba de deflexión, para lo cual se tuvo que montar al periscopio en dos apoyos.

Para este trabajo se utilizó:

- a.- Un teodolito NIKON No. 079554 para el nivelado correcto.
- b.- Palpador horizontal o gramil horizontal para tomar las deflexiones del tubo.

Debiendo efectuarse los siguientes pasos :

- a.- Se nivela visualmente y luego con referencia al primer apoyo con una base de cola de milano y con una regla graduada.
- b.- Se nivela la otra punta dejando a la misma altura de la primera.
- c.- Se toma las deflexiones del tubo del periscopio con un reloj palpador en forma horizontal
- d.- Las distancias de colocación del



gramil es cada 95 cms. en el centro del tubo, en las puntas será al lado de cada caja de observación 2,8 mts. y en la parte del cuello hacia atras 0.50 mts.; como se indica en la Fig. No. 12.

Los valores que se obtuvieron a 0o, 90o, 180o y 270o; se presentan en la tabla No. II.

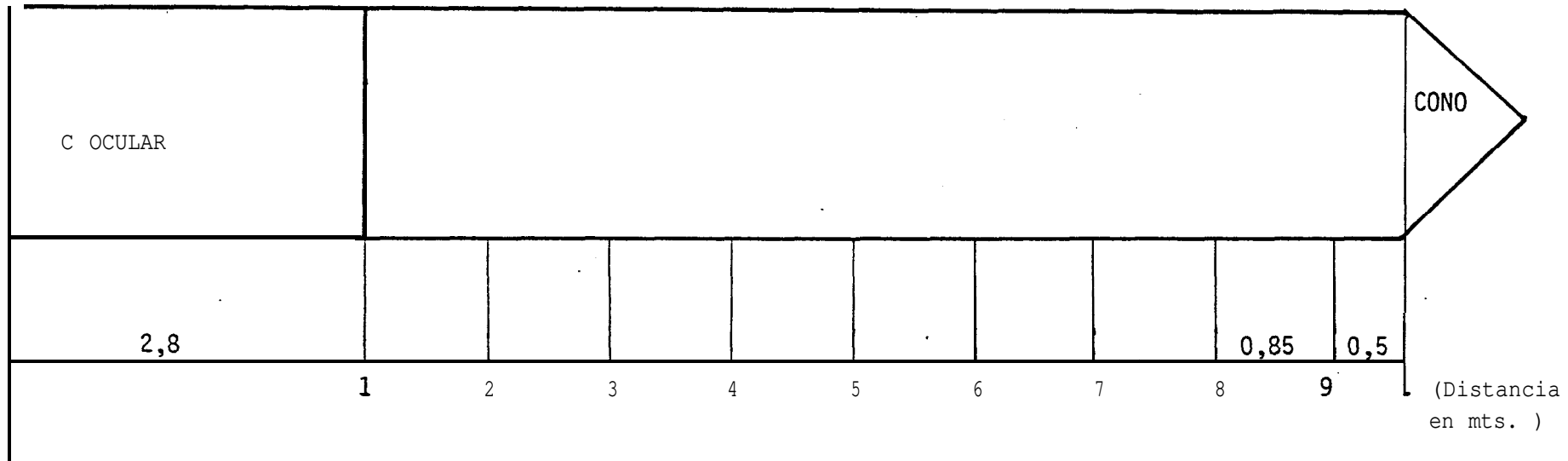


Fig. No. 12 .- Distribución de la distancia de colocación del gramil.

TABLA II

PRUEBA DE DEFLEXION

[mils]

0o milésimas	90o M" mm.	180o M" mm.	270o M" mm
1. 0,0 mm	0,0	0,0	0,0
2.-0,0 - 0,0127	0,0	0,0	0,0
3.-6,0 - 0,152	-0.25 - 0.063	0,0	-1 - 0.25
4.-0.06 - 0.152	-7 - 0.77	-1 0.025	0,0
5.-0.05 - 0.127	-4 - 0.101	-3.5 - 0.088	-3.5 -0.088
6.-0.04 - 0,101	-5.5 - 0.139	-3.0 - 0.076	-3.5 -0.088
7.-3.5 - 0.088	-4.5 - 0.114	-4.0 - 0.101	-2.0 - 0.051
8.-2.0 - 0.051	-2.0 - 0.051	-2.5 - 0.063	0.0
9.-0.5 - 0.127	0.0	0.0	0.0

#### 4.- Prueba de profundidad de rayadura.-

El objetivo de esta prueba es determinar la profundidad de las rayaduras presentes en el periscopio.

##### **Equipo utilizado**

- I Un rugosímetro TAYLOR HOBSON SONTRONIC No.3, este equipo nos proporciona el 60% de la profundidad y su lectura es en micras de pulgada.
- II Reloj palpador con base de cola de milano.
- III Reloj palpador con base de cola de milano magnético y con brazo flexible.

##### **PROCEDIMIENTO**

- a.- Se limpia los puntos del lugar donde se tomarán dichas profundidades.
- b Se hacen las tomas con rugosímetro TAYLOR HOBSON SONTRONIC No. 3; este equipo no proporciona en un 60% de la rugosidad que tiene el tubo.

Los resultados de las mediciones obtenidas, se describen en la **Tabla No. III**

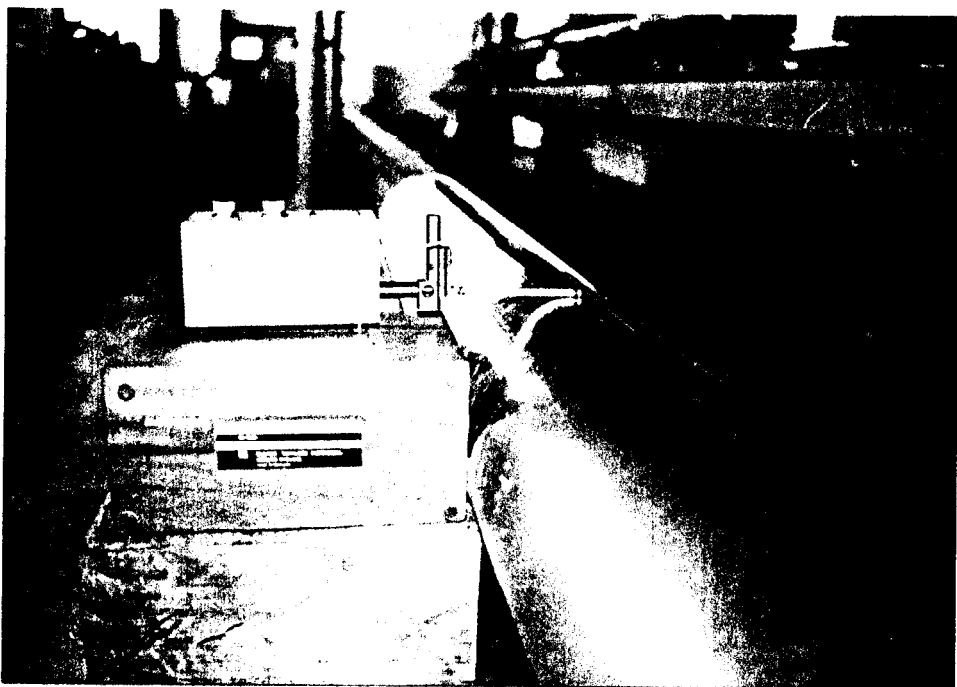


Fig. No. 13 Tomas de profundidad con rugosímetro TAYLOR  
, HOBSON SONTRONIC

TABLA III

RESULTADO DE LA PRUEBA PARA DETERMINAR  
 PROFUNDIDAD BE: RAYADURA

	DIST. MTS	MICRO PULG 60%	MILES PULG. 100%
01.-	4.65	154	0.002
02.-	4.70	132	0.003
03.-	5.00	138	0.003
04.-	5.25	289	0.003
05.-	5.50	249	0.006
06.-	5.80	182	0.005
07.-	6.10	233	0.003
08.-	6.30	198	0.003
09.-	6.50	233	0.003
10.-	7.30	222	0.002
11.-	7.50	288	-
12.-	7.52	363	0.002
13.-	7.55	332	-
14.-	8.10	336	0.006
15.-	8.50	391	0.0015
16.-	8.70	454	0.004
17.-	8.80	303	-
18.-	8.85	449	0.001
19.-	0.75	-	0.007

## 2.2 EQUIPO UTILIZADO

### 2.2.1 Descripción General.-

En apariencia, el proceso de electrodeposición trabaja como un soldador de arco. Una fuente de potencia DC con dos electrodos flexibles, uno que va a la pieza de trabajo y otro que toma la forma de herramienta para la deposición, es la parte básica y fundamental del proceso. Anodos de grafito de diferentes tamaños y formas (redondos, planos, cóncavos y convexos) son conectados al final de styli. Los ánodos son recubiertos con un material absorbente (algodón) y luego saturados con el electrolito apropiado de acuerdo al metal a recubrirse. Dichos electrolitos o soluciones pueden ser también fluidos por el área de contacto, cuando es necesario realizar una operación mecánica.

La conexión positiva de la fuente de potencia DC se sujeta por medio de un punzón y acople a un ánodo especial de grafito, conformado así la herramienta de trabajo; y la conexión negativa es sujeta con una pinza sobre la

pieza que se desea trabajar. El circuito eléctrico se completa cuando la herramienta es movida sobre la pieza de trabajo o cuando la pieza de trabajo es movida bajo la herramienta. Cuando el circuito está cerrado, el metal se deposita desde la solución líquida al metal base. La tasa de deposición es muy rápida, algunas veces asciende a 0.002" d e espesor por minuto. En la Fig. No. 14 se indica un esquema del proceso.



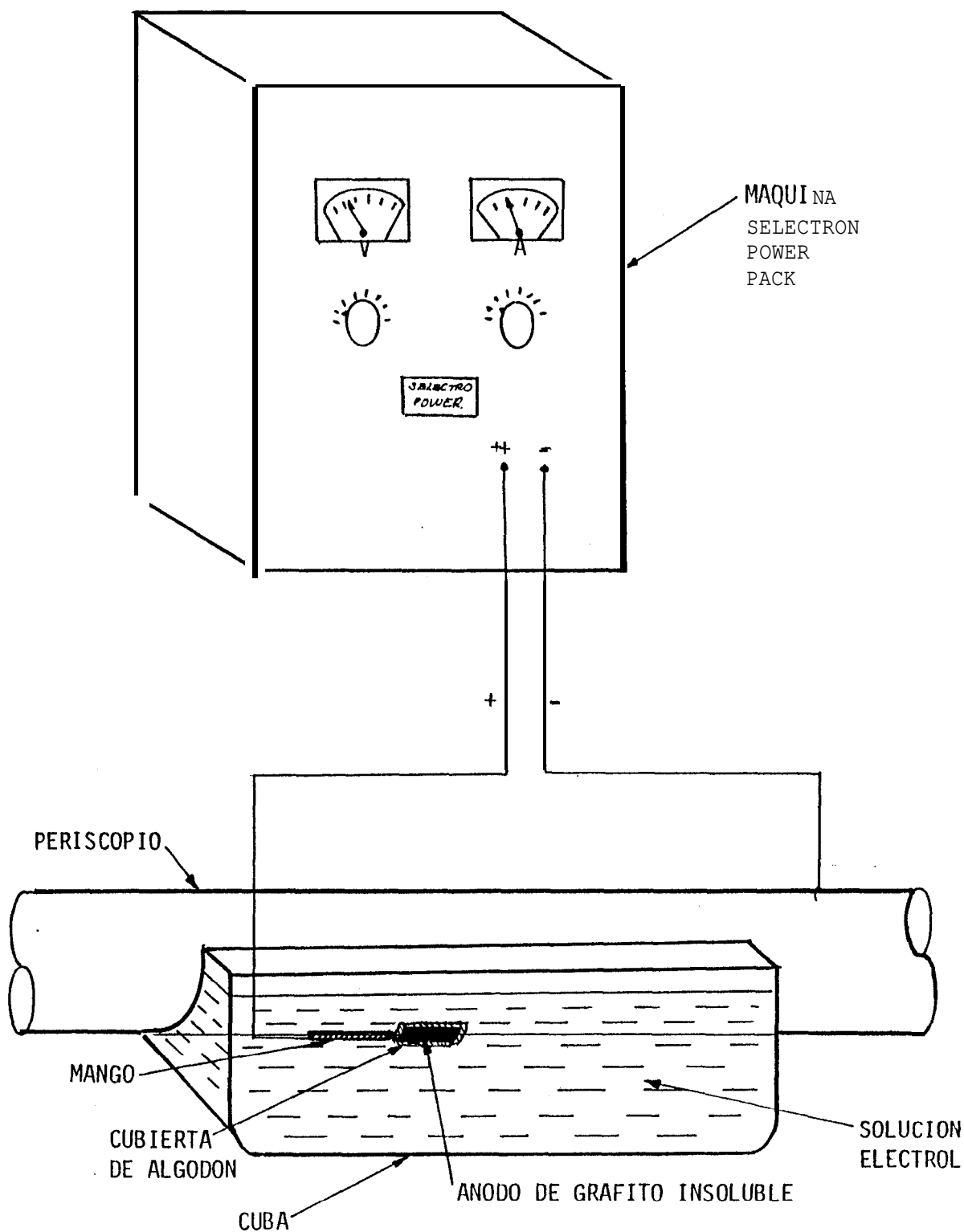


Fig. No. 14 Esquema del proceso de electrodeposición

## 2.2.2 Características del equipo.-

Se utilizó una máquina SELECTRON POWER PACK, como la mostrada en la Fig. No. 15.

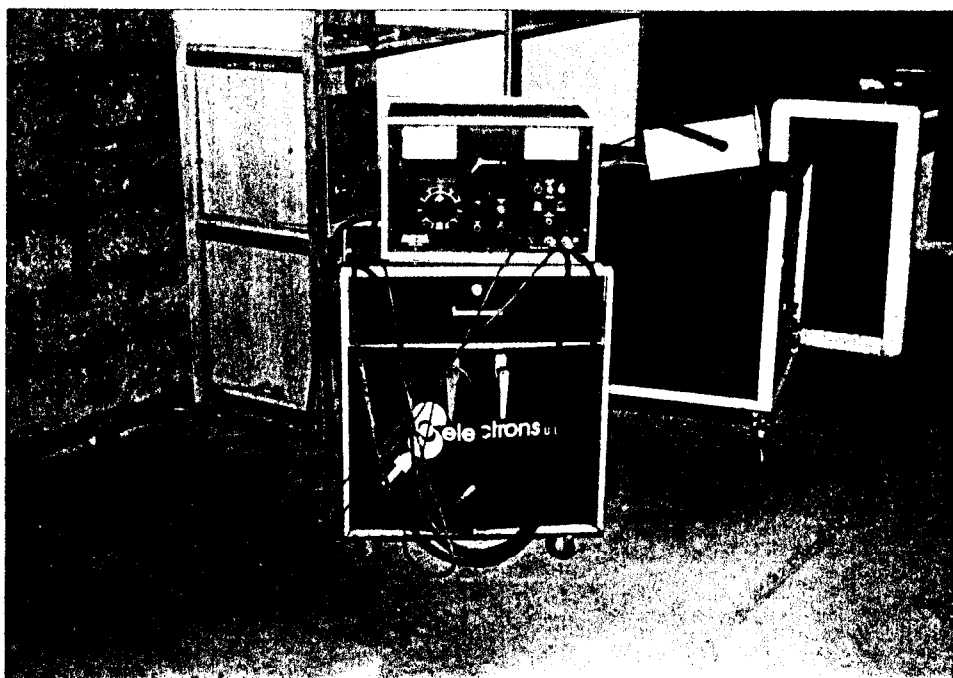
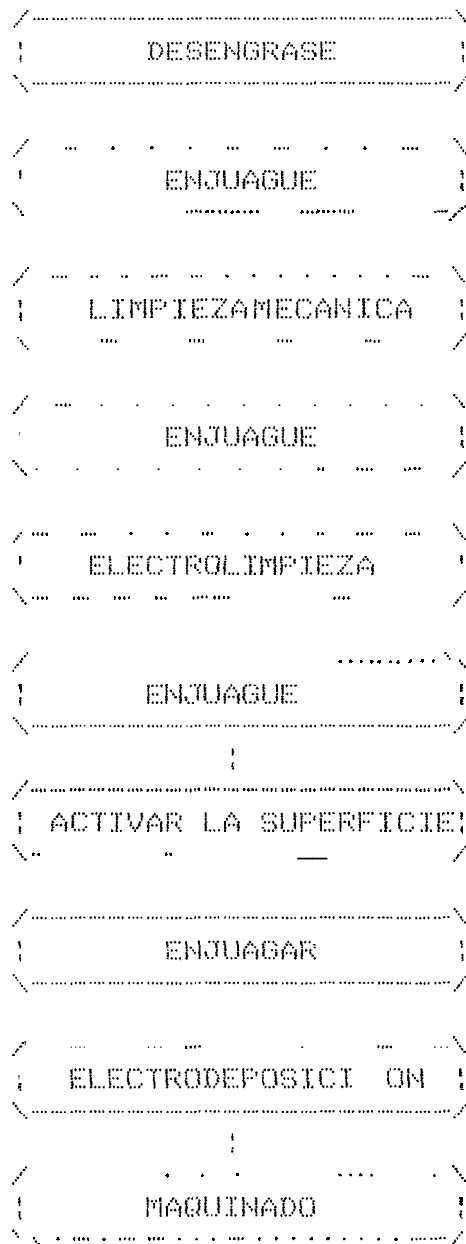


Fig. No. 15 Máquina SELECTRON POWER PACK.

Con las siguientes características:

- VOLTAJE 0 - 50 VOLTS.
- AMPERAJE 0 - 300 ANP.
- CORRIENTE 110/220 DC
- CAPACIDAD DE DEPOSICION 0.001 mm - 1 mm
- CONTROL REMOTO PARA REGULACION DE VOLTAJE Y AMPERAJE.

### 2.2.3 Procedimiento de electrodeposición.-



**DESENGRASE.-** Desengrasar la superficie e implantar iónicamente el área adyacente usando un solvente seguro y apropiado, como el

TRICLORO ETHILENO, DUPONT FREON TF o similar.

**ENJUAGUE.**- Si el agua se esparce sobre la superficie sin mojarla, los resultados no son los deseados. Se debe lavar la superficie al agua fuerte para remover cualquier vestigio de mancha o suciedad entrampada por deformación elástica del material.

**LIMPIEZA MECANICA.**- Desoxidación de la superficie mediante cepillado con alambre, limpieza con lana de acero o chorro abrasivo de grano fino.

**ELECTROLIMPIEZA.**- Para remover el residuo de grasa, aceite y película de óxido; para ello se invierte la polaridad, la conexión positiva va a la pieza a recubrirse y la negativa va al ánodo.

**ACTIVAR LA SUPERFICIE.**- según se requiere para el plateado con cromo, níquel o aleaciones de níquel, acero inoxidable y aluminio o aleaciones de aluminio, para remover la superficie pasiva, característica de estos

metales, la cual no es afectada por los pasos normales de desoxidación y limpieza.

**ELECTRODEPOSICION.-** Se deberán seguir las instrucciones específicas para el material o metales a ser aplicados.

**MAQUINADO.-** según se requiere para eliminar exceso de material depositado.

## 2.3 CONTROL DE VARIABLES

### 2.3.1 Requerimientos de reparación.-

#### a. Identificación del material.

Una apropiada identificación del material base es esencial para seleccionar una secuencia del depósito metálico y soluciones que den como resultado una adecuada adhesión. Los pasos preparatorios varían para los diferentes metales base y aunque la apariencia y/o reacción de las etapas al proceso puedan categorizar al material, se debe hacer una positiva

identificación del material antes del depósito metálico

**b. Condición de la superficie.**

El recubrimiento de superficie con muescas, ranuras y estrias, requerirá usualmente de especial atención a estos defectos. Cualquier borde o metal levantado alrededor de tales defectos debe ser removido por pulido. Los defectos superficiales que tengan mayor profundidad que ancho pueden ser una fuente de problemas, debido a que el plateado tiende a encubrir estos defectos en lugar de rellenarlos. Para evitar esto, tales defectos deben ser abiertos a la superficie por esmerilado o moldeando usando herramientas manuales que permitan una depresión de la superficie del defecto y cuya abertura tenga una amplitud de por lo menos el doble de la profundidad. Cuando se recubre a una medida final o para evitar un exceso no necesario de relleno es una buena práctica el rellenar

antes los defectos para despues recubrir la totalidad del la superficie. El cobre es usualmente un excelente material para este propósito, porque puede ser depositado rápidamente y en los excesos puede ser facilmente removido para mezclar el Área de llenado con la superficie circundante. Aunque el cobre como material de relleno puede ser considerablemente más blando que el metal base, el limitar el Área de lleno al 10% del total del Área de trabajo no afectará significativamente la resistencia total de la pieza.

**c. Protección o aislamiento.**

El aislamiento o protección se refiere a la separación de la superficie de trabajo del resto de la superficie de la pieza, esto se realiza generalmente con cinta sensible a la presión.

El Área no protegida debe ser mayor al Área a ser reparada, y se debe evitar el recubrimiento sobre el borde de la cinta.

Esto eliminará la sobredeposición en los filos de la falla o de la ranura y subsecuentemente reducirá la cantidad de trabajo requerida para igualar el relleno de la ranura con el resto de la superficie. También se puede evitar esta sobredeposición en los bordes de la ranura, usando cinta o esmalte de uñas en el filo de la cinta, de tal manera de crear una especie de chaflán hacia el interior de la ranura.

### **2.3.2 Selección de ánodos.**

Debido a que el material es depositado esencialmente solamente en el área de la herramienta que entra en contacto es importante el seleccionar un ánodo que provea el máximo contacto para el trabajo. Esto permitirá que el recubrimiento sea depositado tan rápidamente como sea posible, y asegurará la cohesión<sup>t</sup> del depósito. Siempre que sea posible un ánodo debe seleccionarse de acuerdo a la geometría del trabajo, y :



- a. Contactos de  $1/3$  ó  $1/2$  del área total a ser plateada.
- b. Que contacte la longitud total del cilindro o del área plana a ser recubierto, de tal manera que el espesor del material depositado sea uniforme a todo lo largo de la longitud.

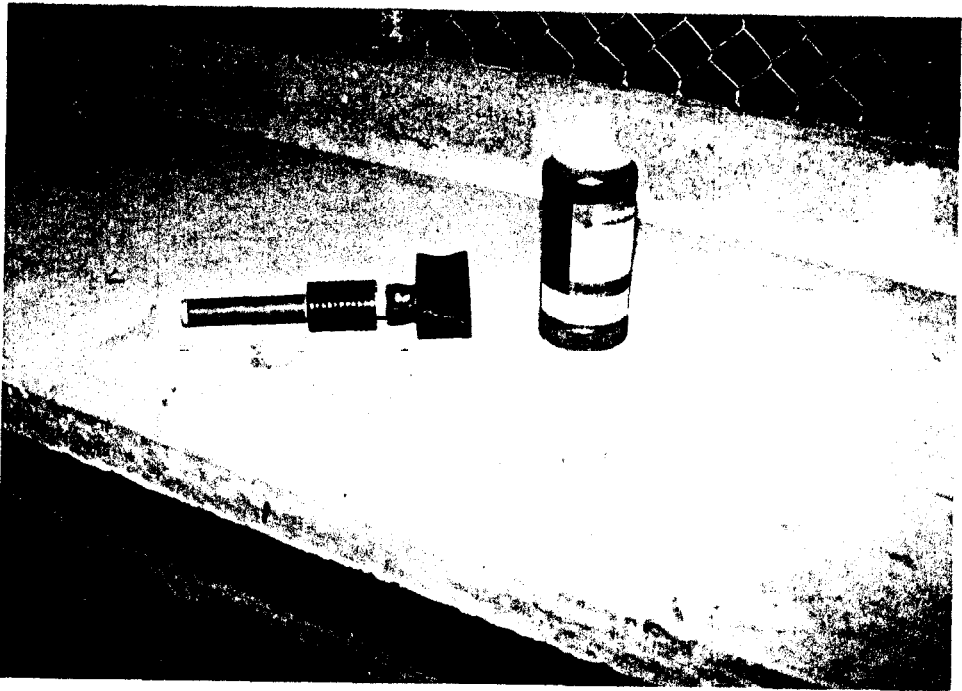


Fig. No. 16 Anodoutilizado

Se utiliza ánodos de grafito con diversidad de formas, de acuerdo a los requerimientos de implantación iónica (cóncavo, convexo, medias lunas, esferas, etc.).

Operando bajo condiciones favorables, (presiones entre 1 a 10 Pa), alcanzan un poder de descarga con una densidad de 5 W/cm<sup>2</sup> (33 W/in<sup>2</sup>), a una velocidad de deposición de 2nm/seg. (0.08 uin/seg.).

Cuando se recubren áreas grandes la herramienta óptima de contacto para ser utilizada será menor que las recomendadas anteriormente y dependerán de la solución de contacto y de la fuente de poder a ser usada. El contacto óptimo para áreas mayores puede ser computado usando la fórmula siguiente:

$$A = \frac{P \times T}{Dc}$$

Donde:  $A$  = Área de contacto óptima en  
pulgadas cuadradas.

$I$  = Máximo amperaje de descarga  
de la fuente de poder.

$D_c$  = Densidad de corriente por  
solución bajo condiciones  
óptimas en amperios/pulgadas  
cuadradas.

El que el ánodo o la forma de la  
herramienta del ánodo se ajuste a la pieza  
a maquinar, no es tan importante para  
fases preparatorias (electrolimpiado,  
electrograbado, etc.), porque estos  
procesos se llevan relativamente rápido en  
comparación con la electroposición. Sin  
embargo, es recomendable usar las  
herramientas del tamaño apropiado para  
asegurar la uniformidad de estas  
operaciones.

Los ánodos de carbón/grafito deben ser  
removidos del manubrio o del puntero de  
trabajo y lavados profusamente con agua  
después del uso. El mismo ánodo puede ser  
usado para más de una solución, pero debe

ser enjuagado entre 5 y 10 minutos en agua limpia y secado con papel toalla. Pero como regla general, se debe procurar que cada tipo de solución metálica tenga su propio ánodo de aplicación. Los ánodos para electrolimpieza y para operaciones de electrograbado deben ser marcados adecuadamente para poder ser identificados y no usarlos como ánodos de electrodeposición.

### 2.3.3 Soluciones para electrodeposición por contacto.

Las soluciones para electrodeposición por contacto pueden producir depósitos de metal con propiedades mecánicas que satisfacen la mayoría de los requerimientos para trabajos de electrodeposición; no obstante recubrimientos de electrodeposición selectiva se pueden usar normalmente para reparar o para recubrir superficies metálicas. La excepción a esta característica es el uso del cromo en el cual todos los residuos de baño de cromo por inmersión deben ser completamente removidos de las partes usadas antes de proceder al

electrodeposito con cromo.

Para áreas que requieren recubrimiento o una gran deposición se puede usar cobre hasta cerca de 0.02 pulgadas de la dimensión final, y entonces depositar una capa exterior de cobalto, níquel-tungsteno o cobalto-tungsteno que darán una mayor resistencia al desgaste y dureza a la superficie.

Para este trabajo las soluciones utilizadas fueron:

- Primeramente se realizó un relleno con cobre alcalino; debido a que el cobre mejora la adherencia del níquel al metal.
- Recubrimiento final con níquel tungsteno aleación dura.

#### **2.3.4 Control de espesor de deposición.**

La medición del flujo de corriente durante el recubrimiento es el mejor medio para controlar el espesor del depósito. Este métodos de amperio - hora es independiente del tiempo de

aplicación, del tamaño del ánodo, la técnica del operador o el porcentaje del área total contactada.

Para un espesor uniforme de recubrimiento debe seleccionar un adecuado movimiento velocidad de aplicación de la herramienta, cual dará como resultado que el ánodo se situe igual tiempo en cada punto de la superficie. El espesor final debe ser determinado por medición con micrómetro.



## 2.4 ENSAYOS DE CALIDAD

El departamento de control de calidad responsable, asegura el procedimiento de recubrimiento bajo esta instrucción, si es que cumple con las especificaciones que se enlistan en la **Tabla No. IV.**

TABLA No. IV

ESPECIFICACIONES PARA RECUBRIMIENTOS

DEPOSICION	ESPECIFICACION
Cadmio	QQ-P-416
Cromo	QQ-C-320
* Cobre	PIIL-C-1.4550
Oro	MIL-G-45204
* Niquel	QQ-N-290
Plata	QQ-S-365
Latón	MIL-T-10727
Latón-Plomo	MIL-P-81728
Zinc	QQ-Z-325

## CONTROL DEL PROCESO.-

Todas las piezas a ser recubiertas deben ser manipuladas de acuerdo con el procedimiento escrito de control de proceso aprobado para cada actividad individual. Este procedimiento debe ser establecido e implementado de tal manera que asegure un flujo suave de trabajo de deposición desde la aprobación ingenieril hasta la inspección final y que mantenga un adecuado registro de trabajo realizado en el taller de recubrimiento.

El registro de información del proceso debe incluir lo siguiente:

- a. Nombre del buque, fecha y número de orden de trabajo cuando sea aplicable.
- b. Descripción de la pieza a ser recubierta con su nombre apropiado y el dibujo de las piezas numeradas.
- c. Un esquema del área que requiere el recubrimiento.
- d. Identificación del metal base.



- e. Espesor final de depósito requerido
- f. Materiales de plateo a usar.
- g. Procedimiento del proceso paso a paso (Ver sección 2.2.3)
- h. Método de acabado superficial (pulido, etc.)
- i. Inspección final; incluyendo el método y chequeo dimensionales cuando sean aplicables.

En los items anteriores (a) hasta (f) son esenciales en funciones de planificación ingenieril y de trabajo y representan la información mínima que debe ser requerida por el taller de recubrimiento. Los regimientos de control de proceso de1. tra13a.j (3 finalizados proveen una referencia rápida y muy útil cuando se llega a manipular trabajos repetitivos y a la vez que incrementan la capacidad del taller de recubrimiento.

#### 2.4.1 Ensayos no destructivos.-

Una vez terminado el trabajo, y para comprobar que habían sido corregidas las fallas presentadas por rayaduras; se realizó nuevamente la prueba de líquido penetrante como se muestra en la figura No. 17.

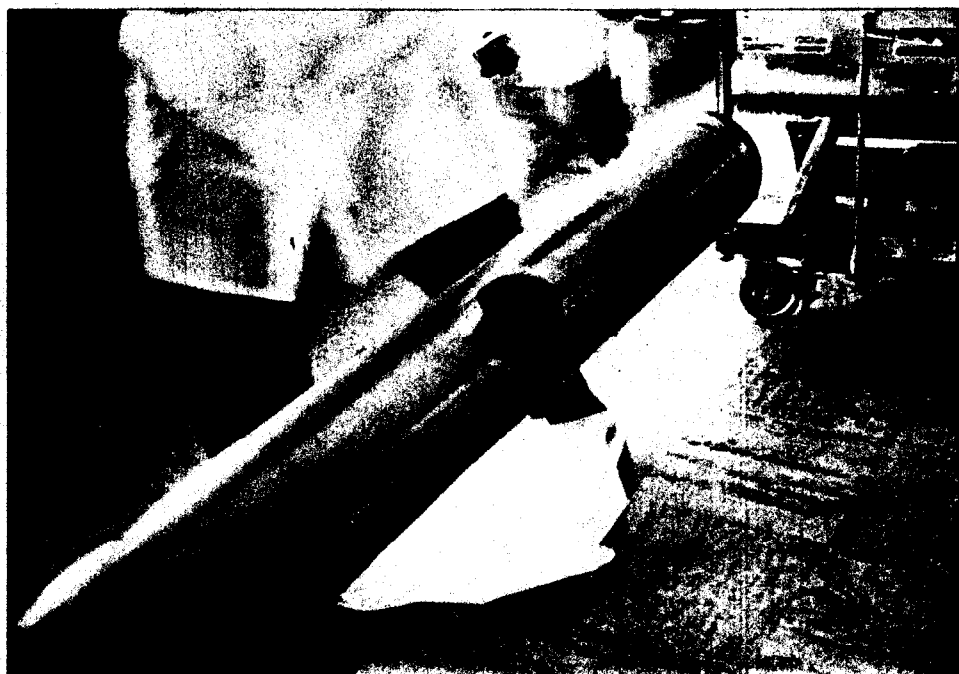


Fig. No. 17 Prueba de **líquidos** penetrantes

Determinando que las fisuras detectadas habían sido eliminadas. Paralelamente se realizó pruebas similar& como las efectuadas para detectar la profundidad de las rayaduras, el ovalamiento y la deflexión; evidenciándose que se habían corregido las fallas.

## 2.4.2 Control de material en servicio.-

### 2.4.2.1 FUNCIONAMIENTO

Una vez terminada la reparación de los periscopios, mediante el sistema de implantación iónica, entraron en funcionamiento en el submarino.

El trabajo fue concluido la primera semana de Agosto/92, desde entonces el submarino Shyri ha cumplido varias operaciones, en las cuales se ha podido observar que al subir o bajar este equipo no se producen filtraciones de agua; como ocurría antes de la operación.

### 2.4.2.2 INSPECCION VISUAL.-

Todos los recubrimientos debieron ser suaves y libres de burbujas, picaduras, nódulos, porosidad o excesivo sobre deposición, y otros defectos que puedan afectar el uso

funcional de la pieza recubierta. El acabado debió conformarse de acuerdo al acabado superficial de diseño de la pieza y debió estar libre de quemaduras y concentraciones de esfuerzo.



#### 2.4.2.3 PRUEBA DE ADHESION.-

La prueba de adhesión se realizó usando cinta de alta sensibilidad a la presión de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Limpiar completamente y secar la superficie recubierta.
2. Cortar una pieza de cinta de aproximadamente 1" de ancho y 6" mayor que la longitud del ancho del área plateada.
3. Pegar la cinta adhesiva a lo ancho del área recubierta de tal manera que aproximadamente 1 1/2"

del metal base en cada extremo de la cinta sea cubierto con ella. Aprisionar la cinta para asegurar un perfecto agarre entre la cinta y el metal y el recubierta.

4. Despegar uno de los extremos de la cinta y levantarle rápidamente hacia arriba (en ángulo recto respecto a la superficie recubierta) este movimiento debe ser hecho de una sola vez.
5. Inspeccionar la cinta, cualquier adherencia de materiales causa de daños.

#### 2.4.2.4 MANTENIMIENTO DE LOS PERISCOPIOS.-

- \* Los periscopios se deben revisar semanalmente.
- \* En caso de haber rayaduras en los periscopios, éstas deben ser eliminadas con una piedra de asentar al aceite.

- \* Revisar los descansos y quitar todos los elementos extraños que tenga el descanso.
  
- \* Revisar la bandeja colectora y ver los orificios de descarga del agua que no estén tapados.
  
- \* El engrase de las prensas debe ser semanalmente o quincenalmente con una grasa del tipo CONETERM 00.
  
- \* Los descansos deben ser revisados cada seis meses, ésto es revisar el apriete de la bocina y los anillos rascadores.

NOTA: Esta revisión se debe hacer sólo cuando hay ruidos extraños al ronzar los periscopios.

- \* El engrase debe ser desde el sistema de engrase central.

## CAPITULO III

### DISCUSION DE RESULTADOS

#### 3.1 EFECTOS BENEFICIOSOS

La implantación iónica ha sido usada más regularmente para proveer una buena adhesión entre la película y la superficie. Los principales beneficios obtenidos del proceso de implantación iónica son la habilidad para:

- \* Modificar la superficie del sustrato en una manera que favorezca la buena adhesión y mantenga esta condición hasta que la película se empiece a formar. Considerar la incidencia de aplicar cobre antes del níquel, debido a los efectos beneficiosos de adherencia que proporciona el cobre.
  
- \* Proveer un flujo de alta energía a la superficie del sustrato, dando una alta temperatura efectiva a la superficie, permitiendo de esta manera la difusión y reacción química sin necesidad de un calentamiento total de la pieza.

\* Alterar la superficie y la estructura interfacial mediante la introducción de efectos de alta concentración, mezclando físicamente el metal del recubrimiento y la superficie del material, e influenciando la nucleación y crecimiento de la película depositada.

Además de la modificación de la superficie del sustrato y de la influencia de la interface bajo la película, el bombardeo iónico de deposición o de crecimiento de película puede causar modificación de la morfología del material depositado, y modificación de otras propiedades físicas y eléctricas.

Este alto poder resulta de la dispersión del gas, del arrastre y de la redeposición de la película electroimplantada en la superficie. Esto permite a los recubrimientos, el ser formados en áreas remotas desde el origen del metal de recubrimiento, dando una mas completa cobertura de la superficie que la alcanzada con el proceso en vacío.



### 3.2 RESULTADOS FINALES

En primer lugar y lo más importante: tiene una excelente adherencia, menor porosidad y una mayor precisión en el control de espesor cuando se compara con el sistema de rociado térmico, el de inflamación con llama o con cualquiera de los tipos de metalización con plasma. A diferencia de las técnicas de metalización o soldaduras tradicionales, en este proceso no se genera ninguna clase de calor. Por lo anterior la pieza de trabajo no se ve afectada por esfuerzo interno alguno y el resultado es que sobre la pieza no se crea distorsión térmica o de rompimiento.

En contraste al metalizado rociado, donde la deposición es de tipo mecánico, la implantación iónica crea un depósito molecular. Este depósito es efectuado sobre cualquier metal base tal como aluminio, hierro moldeado, acero moldeado, acero inoxidable, herramientas de acero, cromo, cobre-berilio, bronce y otros. La tasa de deposición es muy rápida, algunas veces asciende a 2 mils de espesor por minuto.

Repara piezas o equipos gastados o dañados, protege las superficies y salva los rechazos de una línea de producción.

En la reconstrucción del periscopio del submarino, los resultados obtenidos fueron buenos, llegando a obtener las dimensiones originales del equipo, sin necesidad de cambiar por uno nuevo; se logró una buena adherencia trabajando con una densidad de corriente de  $5W/cm^2$ , si operamos con valores superiores el depósito no penetrará totalmente quedandose en la superficie.

Se trabajó con voltajes en un rango de 16 - 24 vóltios; con una intensidad entre 150 a 180 amperios. Al operar con valores superiores se producía un recubrimiento obscuro (quemado) de la superficie; en cambio con valores inferiores se presentaba un exceso de porosidad debido a que en estos rangos no existe una buena cohesión del material a depositarse.

## CAPITULO I V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- 1.- El proceso de implantación iónica puede proporcionar superficies resistentes al desgaste, resistentes a la corrosión, de durezas elevadas, de bajo coeficiente de fricción, resistente a altas temperaturas, de gran conductividad eléctrica, protectora al ataque de ácidos y de excelente soldabilidad.
- 2.- La utilización de este proceso en la reconstrucción del periscopio, representó un ahorro económico muy significativo; aproximadamente 70%; ya que se puede alcanzar las medidas del fabricante, sin tener que adquirir otro equipo.
- 3.- Mediante la implantación iónica, muchos astilleros y compañías han logrado alcanzar las especificaciones militares o industriales requeridas. Estas especificaciones cumplen las más diversas aplicaciones.
- 4.- Se introduce en nuestro medio una nueva técnica de electrodeposición metálica, aplicada a materiales

especiales que van a estar sometidos a servicios específicos y que por sus elevados costos son difíciles de reemplazar; tal como el caso del periscopio en el submarino.



## RECOMENDACIONES (SOBRE EL TRABAJO REALIZADO)

- 1.- El personal que use el proceso previo de limpieza mecánica para el cepillado, debe usar equipos de seguridad industrial tales como: gafas de seguridad o mascarilla de rostro, guantes de caucho y vestimenta de caucho para laboratorio. Así mismo deberá tenerse en cuenta que el contacto de la piel con las soluciones utilizadas en este proceso debe evitarse; si esto ocurre, la piel debe ser lavada con abundante agua y jabón.
  
- 2.- Cuando el trabajo se realice en compartimientos con aire acondicionado, en compartimientos no ventilados, en áreas confinadas o en compartimientos con ventilación mínima, se debe utilizar ventiladores portátiles, la manguera de descarga de estos ventiladores debe ser dirigido hacia un adecuado terminal de descarga o al ambiente donde sea aplicable.

- 3.- Continuar con estos trabajos de implantación en otros tipos de materiales, como puede ser la investigación sobre nuevos tipos de ánodos a utilizarse para la electrodeposición por contacto.
  
- 4.- Realizar reparaciones de piezas, como cilindros hidráulicos utilizados para dar movimientos a equipos de artillería, cilindros de motores, ejes de levas, cigueñales, donde resultaría más beneficioso recuperarlos por medio de este proceso, que su adquisición.
  
- 5.- Sugerir que la Armada Nacional realice la compra de un equipo SELECTRON, en vista del amplio campo de acción en que puede ser utilizado.

## BIBLIOGRAFIA

1. D.M. Mattox, Electrochemical Technology, Vol 2, 1964.
2. Stupp, B.C., Plating Journal, 1974.
3. Engel, N.E., U.S. Patent No. 3,915,757 (1975) and 3,925,116 (1975).
4. Hochman, R.F. and Marek, M., Proceedings of World Biomaterial Congress, Society of Biomaterials, Vienna, 1980.
5. R.F. Bunshah, Ed., Ion Plating Technology, in Deposition Technology Noyes Publications, 1982.
6. D.M. Mattox, Thin Film Adhesion and Adhesive Failure - A Perspective, ASTM Special Publication 640, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1978.
7. D.J. Sharp, J.K.G. Panitz, and D.M. Mattox, Journal of Vacuum Science and Technology, Vol 16, 1979.
8. Navships 0900 - 038 - 6010 Department of the Navy U.S.A.