



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingenieria Mecanica

**“Diseño de un Sistema de Protección Catodica por
corrientes impresas para el DAE Rio Amazonas”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Titulo de:

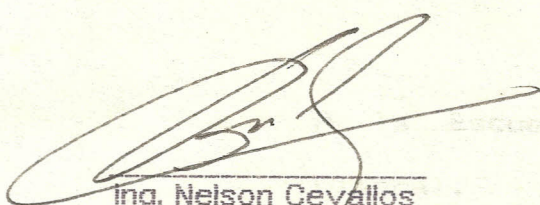
Ingeniero Mecanico

Presentada por:

EDISON DAVID LOAIZA LUCIO

Guayaquil - Ecuador

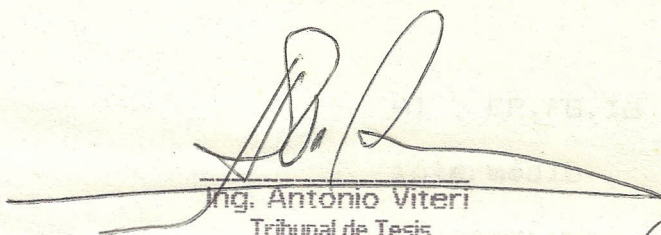
1990



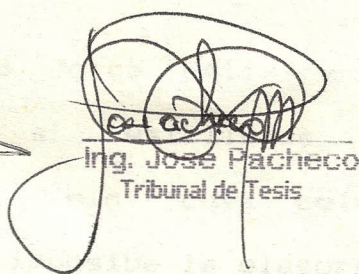
Ing. Nelson Cevallos
Decano
Facultad de Ingeniería Mecánica



Ing. Julian Pena
Director de Tesis



Ing. Antonio Viteri
Tribunal de Tesis



Ing. Jose Pacheco
Tribunal de Tesis

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Al Ing. Jorge Peña Estrella, Director de Tesis, por la valiosa ayuda y dirección brindada para la realización de este trabajo.

Al CP.FG.IG Jorge Félix y por su intermedio a Astilleros Navales Ecuatorianos, sin cuya colaboración hubiese sido imposible la elaboración de esta Tesis.

A todos mis amigos y compañeros de trabajo que de alguna u otra forma brindaron su cooperación.

DEDICATORIA

DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Filiales Profesionales de la ESPOL)

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A MI MADRE

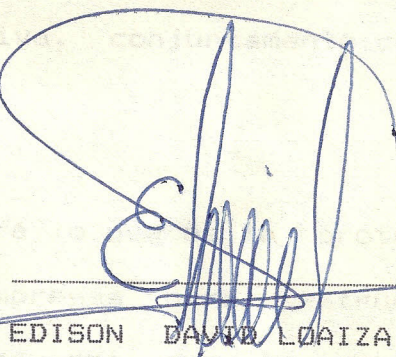
A MIS HERMANDOS

EDISON, JAVIER, LONIZA, LUCIO

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).



EDISON DAVID LOAIZA LUCIO

RESUMEN

En el presente trabajo se procede a realizar el diseño de un Sistema de Protección Catódica por Corrientes Impresas para el DAE Rio Amazonas.

En el primer capítulo se lleva a cabo un historial de lo que es el dique Amazonas, en el cual, entre otras cosas se indicarán los años de servicio, equipos que posee y los servicios que presta. Posteriormente se hará un recuento de lo que es el revestimiento y la protección catódica actual de la obra viva, conjuntamente con un análisis económico del proceso.

En el siguiente capítulo se verá lo que es la protección catódica por corrientes impresas para estructuras navales, se analizarán los equipos que lo conforman (Transformador/Rectificador, ánodos inertes, electrodos de referencia, etc.) y la secuencia operativa que se debe

llevar para realizar un diseño de esta naturaleza. Luego se seguirá con un estudio de factibilidad de implantación de este sistema en el dique Amazonas analizando tanto el aspecto técnico como el económico.

En el tercer y último capítulo se procederá a efectuar el diseño exclusivo para el dique, partiendo de los resultados obtenidos en la toma de datos; se seleccionarán los ánodos inertes y el Transformador/Rectificador más idóneos para la protección respectiva. Se presentarán planos de instalación y montaje y un plan de mantenimiento del equipo. Finalmente se realizará un análisis comparativo de costos tanto de la protección actual como de la que se desea implantar.

Corriente Continua

Diámetro del ánodo

Resistente del ánodo

Densidad de corriente

Longitud de la ánoda del Ecuador

Diferencia de potencial eléctrico

Diferencia de potencial del circuito

Diferencia de potencial del T.A

eficiencia del revestimiento

Factor de corrección de velocidad

hora

Carga de corriente máxima por ánodo

I_a	Descarga de corriente nominal por ánodo
I	Intensidad de corriente
I_t	Intensidad de corriente teórica
$I_{T/R}$	Intensidad de corriente del T/R
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
KW	Kilovatio

S I M B O L O G I A

L	Longitud
Amp	Amperio
A	Area transversal
AWG	American Wire Gauge
cm	Centímetro
C	Constante de caja
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
d	Diámetro del ánodo
D	Desgaste del ánodo
Dc	Densidad de corriente
DAE	Dique de la Armada del Ecuador
ΔE	Diferencia de potencial eléctrico
ΔE_c	Diferencia de potencial del circuito
$\Delta E_{T/R}$	Diferencia de potencial del T/R
E	Eficiencia del revestimiento
F	Factor de corrección de velocidad
h	Hora
i	Descarga de corriente teórica por ánodo

i_n	Descarga de corriente nominal por ánodo
I	Intensidad de corriente
I_t	Intensidad de corriente teórica
$I_{T/R}$	Intensidad de corriente del T/R
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
Kw	Kilovatio
l	Longitud del ánodo
L	Longitud
m	Metro
ma	Masa unitaria anódica
mm	Milímetro
mA	Miliamperio
mV	Milivoltio
M	Masa total de ánodos
n	Número de ánodos
Ω	Ohm
R	Resistencia
R_a	Resistencia del contacto ánodo-electrolito
R_c	Resistencia del cátodo (estructura)
R_{ce}	Resistencia de cables eléctricos
R_T	Resistencia total del circuito
$R_{T/R}$	Resistencia del T/R
ρ	Resistividad del electrolito
s	Separación entre ánodos
S	Superficie

T/R	Transformador/Rectificador
V	Voltios
VU	Tiempo de Vida útil

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	1
INDICE DE FIGURAS	11
INDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCION	14
CAPITULO I	
HISTORIA DEL OCEANO MEDITERRANEO	
1.1 HISTORIA PREVIA	16
1.2 REVESTIMIENTO Y PROTECCION CATODICA ACTUAL DE LA OSEA VIVA	20
1.3 COSTO DEL MANTENIMIENTO DE LA OSEA VIVA	25

CAPITULO II

PROTECCION ELECTICA POR CORRIENTES IMPRESAS PARA
ESTACIONES INVALES

2.1 GENERALIDADES	31
2.2 PARTES DEL SISTEMA	34
2.2.1 TRANSFORMADOR/RELEVADOR	34
2.2.2 ANODOS TIERTES	41
2.2.3 ACCESORIOS	Pág.

2.3 BALANZA OPERATIVA DE DISEÑO	50
RESUMEN	i
2.4 FUNDAMENTOS DE IMPLANTACION DEL SISTEMA EN	
SIMBOLOGIA	iii
INDICE GENERAL	vi
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS	xii

INTRODUCCION	14
3.1 TEMA DE DATOS	67
3.1.1 RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL MEDIO	67

CAPITULO I

HISTORIAL DEL DAE RIO AMAZONAS

1.1 HISTORIA PREVIA	16
1.2 REVESTIMIENTO Y PROTECCION CATODICA ACTUAL DE LA OBRA VIVA	20
1.3 COSTO DEL MANTENIMIENTO DE LA OBRA VIVA	26
2.2.4 SELECCION DEL T/E	89

CAPITULO II

PROTECCION CATODICA POR CORRIENTES IMPRESAS PARA ESTRUCTURAS NAVALES

2.1	GENERALIDADES	31
2.2	PARTES DEL SISTEMA	34
2.2.1	TRANSFORMADOR/RECTIFICADOR	34
2.2.2	ANODOS INERTES	41
2.2.3	ACCESORIOS	45
2.3	SECUENCIA OPERATIVA DE DISEÑO	50
2.4	FACTIBILIDAD DE IMPLANTACION DEL SISTEMA EN EL DAE RIO AMAZONAS	63

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

3.1	TOMA DE DATOS	67
3.1.1	RESISTIVIDAD ELECTRICA DEL MEDIO	67
3.1.2	POTENCIAL ESTRUCTURA-MEDIO	72
3.2	DISEÑO DEL SISTEMA	75
3.2.1	CORRIENTE A IMPRIMIR	75
3.2.2	SELECCION DEL ANODO INERTE	76
3.2.3	RESISTENCIA TOTAL DEL SISTEMA ELECTRICO	86
3.2.4	SELECCION DEL T/R	89

3.3	INSTALACION Y MONTAJE	91
3.4	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	102
3.5	ANALISIS DE COSTOS	105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		110
APENDICES		114
BIBLIOGRAFIA		119

1.	Vista superior del área de trabajo del dique anodico	14
2.	Vista del dique anodico en sección	15
3.	Área de zinc utilizado en la protección catódica del dique anodico	25
4.	Formación de áreas anódicas y cátodicas en una plancha de hierro sumergida en agua de mar	26
5.	Esquema de un sistema de protección catódica por corriente impresa para embarcaciones navales	30

Nº		Pág.
6.	Esquema de un sistema de protección catódica por corriente impresa para el dique Amazonas	36
7.	Electrodo de referencia de Ag/ClAg	46
8.	Características eléctricas del cable electrolítico	49
INDICE DE FIGURAS		
9.	Solo para con su respectivo circuito	54
Nº		Pág.
1.	Vista superior del área de trabajo del dique Amazonas	17
2.	Vista del dique Amazonas en sección	21
3.	Anodo de zinc utilizado en la protección catódica del dique Amazonas	25
4.	Formación de áreas anódicas y catódicas en una plancha de hierro sumergida en agua de mar	32
5.	Esquema de un sistema de protección catódica por corrientes impresas para embarcaciones navales	35

Nº		Pág.
6.	Esquema eléctrico de un Transformador /Rectificador para protección catódica	36
7.	Electrodo de referencia de Ag/ClAg ...	46
8.	Cofferdam. Penetración del cable eléctrico a través del casco	49
9.	Soil Box con su respectivo circuito ..	54
10.	Variación de la densidad de corriente de protección con la resistividad ...	56
11.	Factor de corrección de corriente en función de la velocidad del electrolito	58
12.	Parte del planchaje de la obra viva del dique Amazonas	65
13.	Ensayo de resistividad del electrolito	69
14.	Circuito para toma de potencial estructura-electrolito	73
15.	Plano de instalación de los ánodos inertes en el dique Amazonas	88

Nº		Pág.
16.	Plano de instalación de los electrodos de referencia en el dique Amazonas ..	92
17.	Esquema de la conexión cable-ánodo ..	95
18.	Secuencia a seguir para ejecutar un empalme eléctrico	97
19.	Aislador de porcelana	99
20.	Sujección del ánodo	99
21.	Esquema del montaje de los ánodos ...	100
22.	Dimensiones del T/R	101
23.	Hojas de control de funcionamiento del sistema catódico para el dique Amazonas	
	(a) Potencial de protección	103
	(b) Drenaje de corriente	103
24.	Costos comparativos entre los sistemas impreso y galvánico del dique Amazonas	108

INDICE DE TABLAS

No	Título	Pág.
I.	Programa de Pintura utilizado en la actualidad	22
II.	Características técnicas del zinc electrolítico usado en la protección catódica del DAE Amazonas	24
III.	Características típicas de algunos ánodos inertes	43
IV.	Propiedades de los cables eléctricos usados en protección catódica según código AWG	47
V.	Eficiencia del recubrimiento aplicado en estructuras	57

VI.	Resistividad del agua del Estero Salado circundante al dique Amazonas .	70
VII.	Potencial estructura-electrolito del dique Amazonas	74

INTRODUCCION

VIII.	Comparación técnica y económica de Simultáneos Ánodos inertes recomendados a seleccionar	83
-------	--	----

se podría disminuir considerablemente si se utilizaran corrientes impresas.

INTRODUCCION

Simultáneamente a las investigaciones realizadas en esta tesis se ha podido conocer como la protección catódica por corrientes impresas ha alcanzado un gran desarrollo en algunos países, inclusive de Sudamérica, a tal punto de estar dejando resagada la protección por ánodos galvánicos. Esto se debe, sin duda alguna, a las ventajas que presenta este método de protección, que como se verá son ventajas tanto de tipo técnicas como económicas. Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo es el de insentivar el adelanto tecnológico en nuestro país, en lo que respecta a la protección catódica para estructuras navales.

Otra de las metas propuestas es relevar mediante la presentación de esta obra, la alternativa de lograr un ahorro prudente de divisas, puesto que una protección galvánica del planchaje del dique representa un gasto de alrededor de los USD 400,000.00 por lustro, el mismo que

se podría disminuir considerablemente si se utilizaran corrientes impresas.

CAPITULO I

HISTORIAL DEL DRE RIO AMAZONAS

1.1 HISTORIA BREVE

El buque "RIO AMAZONAS" es una unidad a flote de la Armada Nacional, que depende de la Dirección y el Comandante de FUERZAS ARMADAS ECUATORIANAS.

Arribo a Guayaquil en Diciembre de 1960, procedente de los Estados Unidos de Norte America.

Fue construido por Portland Bridge Company Shipbuilding Division, Alameda-California en febrero de 1954, es del tipo ARD-17.

Posee una capacidad de almacenamiento de 1500 toneladas, con una eslora sobre buques de 100 ft de

CAPITULO I

HISTORIAL DEL DAE RIO AMAZONAS

1.1 HISTORIA PREVIA

El dique "RIO AMAZONAS", es una unidad a flote de la Armada Nacional, que depende administrativa y militarmente de ASTILLEROS NAVALES ECUATORIANOS.

Arribó a Guayaquil en Diciembre de 1960, procedente de los Estados Unidos de Norte América.

Fue construido por Pacific Bridge Company Shipbuilding Division, Alameda-California en Febrero de 1944, es del tipo ARD-17.

Posee una capacidad de varamiento de 3500 toneladas, con una eslora sobre bloques de quilla de

389 pies. Ver figura Nº 1.

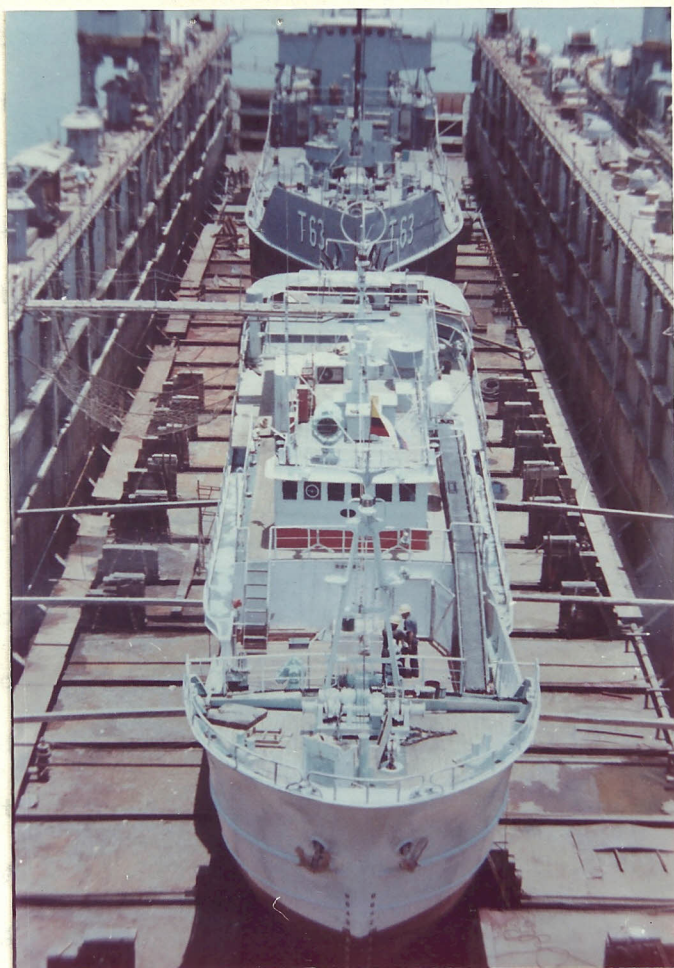


Fig. Nº 1 Vista superior del Área de trabajo del dique Amazonas

Además de las maniobras de varamiento o desvaramiento realiza trabajos de carenamiento tales como:

- Reparación de los sistemas de propulsión y

- gobierno,
- Válvulas de fondo y cajas de mar,
- Protección catódica,
- Soldadura,
- Conservación de tanques, boyas, anclas y cadenas,
- Mecánica industrial, y
- Mantenimiento de buques en general.

Entre los talleres más importantes que conforman el dique se pueden señalar:

- Motores
- Electricidad
- Calderería y Soldadura
- Pintura
- Mecánica de Ejes y Mecánica de Válvulas
- Mecánica Industrial
- Gasfitería
- Carpintería

Los equipos y herramientas con que cuenta el dique para efectuar los trabajos de carenamiento son:

- Un compresor de 100 psi de descarga y 2600 m de volumen.
- Una soldadora eléctrica fija con 6 puntos en la banda y varias portátiles.

- Equipos de Oxicorte.
- Dos grúas con capacidad de 10 toneladas, cada una.
- Un taller de máquinas herramientas.

Los servicios que presta el dique a los buques varados son:

- Camarote acondicionado para el armador.
- Poder eléctrico:
 - Corriente Alterna de 440, 220 y 110 V trifásico.
 - Corriente Continua de 220 y 110 V.
- Provee agua salada para enfriamiento de equipos de aire acondicionado y frigorífico, agua dulce para consumo interno.
- Descarga para aguas servidas.

Revisadas las estadísticas de los últimos 9 años se tiene un total de 256 unidades reparadas, lo que da un promedio de 28 buques anuales.

1.2 REVESTIMIENTO Y PROTECCION CATODICA ACTUAL DE LA OBRA VIVA

Toda estructura metálica sumergida en agua de mar, necesita de un mantenimiento periódico, así en el caso del dique Amazonas, este debe ser carenado cada cuatro o cinco años, según señale su potencial estructura-electrolito y/o el estado de deterioro de la pintura, debiendo seguir para tal efecto la siguiente secuencia de trabajo:

a) Traslado a Astilleros Panameños.- Debido a que en nuestro medio no existe un astillero capaz de albergar al dique dadas las grandes dimensiones del mismo, se hace necesario su traslado a un astillero extranjero que posea dicha capacidad, por lo que los Directivos de ASTINAVE, junto con su cuerpo técnico, decidieron que los trabajos de carenamiento sean realizados en un astillero panameño. Por lo tanto, se debe necesariamente remolcar el dique desde Guayaquil hasta Panamá cada vez que se tenga que efectuar un mantenimiento de la obra viva, ver figura Nº 2.

Procedimiento del crecimiento de los microorganismos mediante resqueado, seguido de un lavado con agua dulce a presión.



Fig. Nº 2 Vista del dique Amazonas en carena-

Sistema	miento	Recomendado	(micras)

b) Varada y Desvarada.- Trabajo necesario, puesto que para realizar el recubrimiento y protección catódica por ánodos de sacrificio, el dique debe estar fuera del agua.

c) Limpieza del Casco.- Consiste en librar el casco de las incrustaciones producto del crecimiento de los micro-organismos mediante rasqueteado, seguido de un lavado con agua dulce a presión.

d) Chorreado de Arena.- También conocido como Sandblasting, consiste en chorrear arena mezclada con escoria de cobre a elevadas presiones con el propósito de dejar el planchaje con un acabado tal que exista una buena adherencia de la pintura.

e) Revestimiento.- Es uno de los puntos más importantes en el mantenimiento de la obra viva, generalmente se utilizan pinturas comerciales de acuerdo al programa mostrado en la tabla I.

TABLA I

PROGRAMA DE PINTURA UTILIZADO EN LA ACTUALIDAD

Sistema	Código	Color	Espesor Recomendado (Micras)
Hempadur	1513	Negro	125
Hempadur	1513	Marrón	125
Hempatex Aluminium	1630	Aluminio	40
Antifouling Tropic	7644	Rojo	80

La pintura Hempadur 1513 de dos componentes, es una composición de brea-epoxi, lo cual permite aplicar elevados espesores en una sola capa, proporcionando una película dura y tenaz, altamente resistente al

agua de mar. La aplicación de dos capas de esta pintura es con el propósito de asegurar una protección a largo plazo.

Hempatex Aluminium 1630 es una pintura de clorocaucho pigmentada con aluminio laminar utilizada como selladora entre el Hempadur 1513 y la pintura anti-incrustante. Cabe señalar que este producto no es recomendable cuando la superficie está siendo protegida mediante corrientes impresas.

Antifouling Tropic 7644 es la capa de pintura utilizada como anti-incrustante.

f) Protección Catódica.- Para la protección catódica del dique se utilizan 300 ánodos de zinc uniformemente distribuidos en la superficie sumergida.

Los ánodos son soldados en el planchaje y poseen las características y dimensiones mostradas en la tabla II y la figura N° 3 respectivamente.

TABLA II

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL ZINC ELECTROLITICO USADO
EN LA PROTECCION CATODICA DEL DAE AMAZONAS

Composición Química	Cobre (máx)	0.205 %
	Aluminio	0.100 a 0.500 %
	Silicio (máx)	0.125 %
	Hierro (máx)	0.005 %
	Cadmio	0.025 a 0.150 %
	Plomo (máx)	0.006 %
	Zinc	Restante
Consumo	2.9 Kg/Amp-año	
Peso Unitario	10.45 Kg	
Potencial Anodo Abierto Cu/CuSO ₄	- 1.1 V	

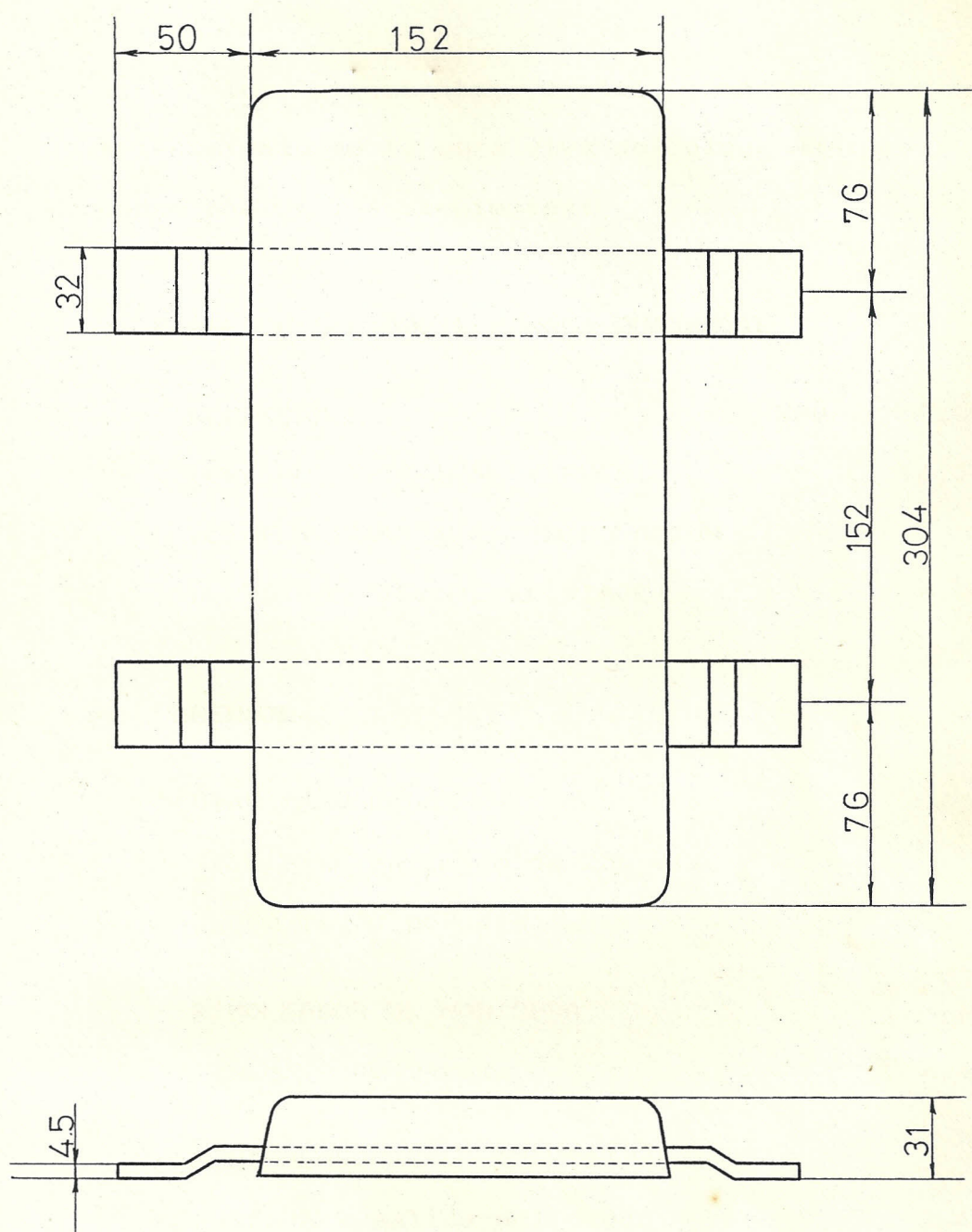


Fig. Nº 3 Anodo de zinc utilizado en la protección catódica del dique Amazonas.

1.3 COSTO DEL MANTENIMIENTO DE LA OBRA VIVA

Entre los principales costos generados por el mantenimiento de la obra viva del dique Amazonas se pueden anotar los siguientes:

a) REMOLQUE GUAYAQUIL-PANAMA-GUAYAQUIL

- REMOLCADOR	USD	50,000
- DERECHOS DE ADUANA Y PUERTO	"	16,000
- ALIMENTACION DE LA TRIPULACION DEL DIQUE DURANTE EL VIAJE	"	4,000

b) CARENAGE

- DIAS DE VARADA		
Existe un estimado de 25 días a USD 1,020 por día	"	25,500
- REMOLCADOR DE MANIOBRA		
Varada y desvarada	"	2,500
- MANIPULADORES DE AMARRAS		
Entrada y salida del dique	"	2,600
- ASISTENCIA DE BUZOS ANTES DE LA COLOCACION SOBRE CAMA DEL DIQUE AMAZONAS	"	480

- PREPARACION ESPECIAL DE LA
CAMA

Incluye modificación de la
línea central de la cama,
modificación de las líneas
laterales durante trabajos de
reparación y restauración de
la cama despues de reflotar el
dique Amazonas.

USD 20,000

- LIMPIEZA DEL FONDO DEL
VARADERO

Se debe hacer a intervalos
regulares durante el periodo
de reparación, incluyendo
limpieza general antes de la
desvarada

" 4.400

c) SERVICIOS GENERALES

- LINEA DE INCENDIO

Conexión de "línea de incen-
dio" incluyendo mantenimiento
de la línea principal bajo
presión, durante el periodo de
reparación.

" 1,700

3) - SUPERVISION CAS DEL Y PRE BOMBERO

VIGILANTE

Un equipo de dos hombres, dos turnos por día incluyendo iluminación del dique seco durante el turno nocturno. USD 23,000

- SUMINISTRO DE CORRIENTE ELECTRICA

Se estima un suministro de 210 Kw-h por día incluyendo iluminación temporal en el sitio de reparaciones (instalación y desinstalación). " 4,100

- SUMINISTRO DE AGUA POTABLE " 830

- FACILIDADES DE COMUNICACIONES TELEFONICAS (estimado) " 1,000

- DERECHO DE GRUA Utilizada para cargar repuestos, reservas, etc. " 1,650

- FACILIDADES DE RETRETE DURANTE EL PERIODO DE CARENAJE " 1,730

- REMOCION DE DESPERDICIOS Y DESECHOS DE LA COCINA " 810

d) LIMPIEZA DEL CASCO Y PREPARACION DE LA SUPERFICIE USD 16,000

1) PROTECCION ANTIBIOTICA

- LIMPIEZA DEL CASCO (SOLO OBRA VIVA)

Rasquetear para remover
incrustaciones orgánicas y
adherencias de vegetación
marina; lavado con agua

potable a alta presión. USD 7,360

2) ZONAS

- CHORREADO DE ARENA

Preparación de la superficie
de la obra viva mediante
chorreado de arena a SA 2½

MANO DE OBRA USD 53,000

MAQUINARIA USD 27,600

de viaje suman un total de USD 12,750

e) RECUBRIMIENTO

- APLICACION DE CUATRO CAPAS DE PINTURA USD 398,160

Dos capas de Hempadur 1513,
560 gl., a USD 90 c/u " 50,400

Una capa de Hempatex Aluminium
1630, 210 gl a USD 70 c/u " 14,700

Una capa de Antifouling Tropic
7644, 280 gl a USD 75 c/u " 21,000

Actas Valores tomados el 21 de Agosto de 1982

Mano de Obra	USD	16,000
--------------	-----	--------

f) PROTECCION CATODICA

- 300 ANODOS DE ZINC		
a USD 18.5 c/u	"	5,550
- INSTALACION DE ANODOS	"	11,500

CAPITULO II

g) PERDIDAS GENERADAS POR EL NO

PROFUNCIONAMIENTO DEL DIQUE AMA- POR
CORRENTES IMPRESAS PARA
ESTRUCTURAS NOVALES

Se estima que diariamente el

dique percibe una utilidad neta

de USD 750, por lo tanto este

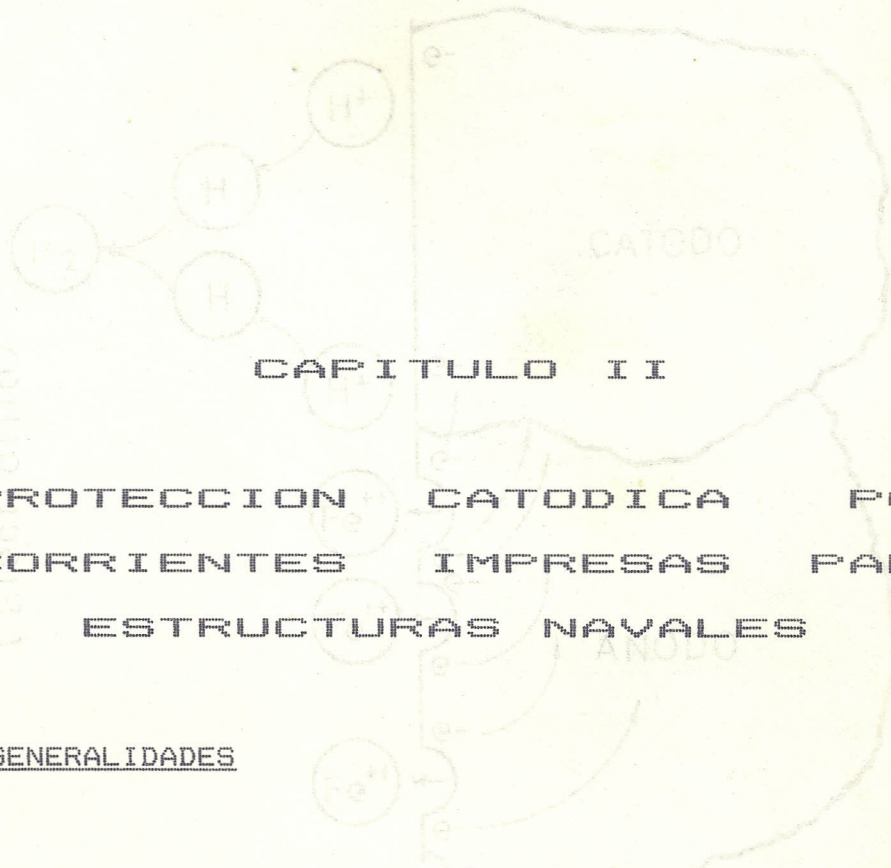
valor multiplicado por los 25

días de varada más los 5 días

de viaje suman un total de :	"	18,750
------------------------------	---	--------

GRAN TOTAL	USD	388,160
------------	-----	---------

Nota: Valores tomados al 31 de Agosto de 1982



CAPITULO II

PROTECCION CATODICA POR CORRIENTES IMPRESAS PARA ESTRUCTURAS NAVALES

2.1 GENERALIDADES

La corrosión es un proceso electroquímico. Cuando la superficie de un metal es sumergida en agua (como en el caso de un barco) se crean naturalmente un sinnúmero de celdas galvánicas formando zonas anódicas y catódicas que cubren toda la superficie del acero. Debido a la diferencia de potencial eléctrico entre estas zonas, se generan corrientes eléctricas que salen de las áreas anódicas (las cuales pierden material y se corroen) hacia las áreas catódicas (que no se corroen) a través del electrolito que para nuestro caso es el agua de mar, tal como lo muestra la figura Nº 4.

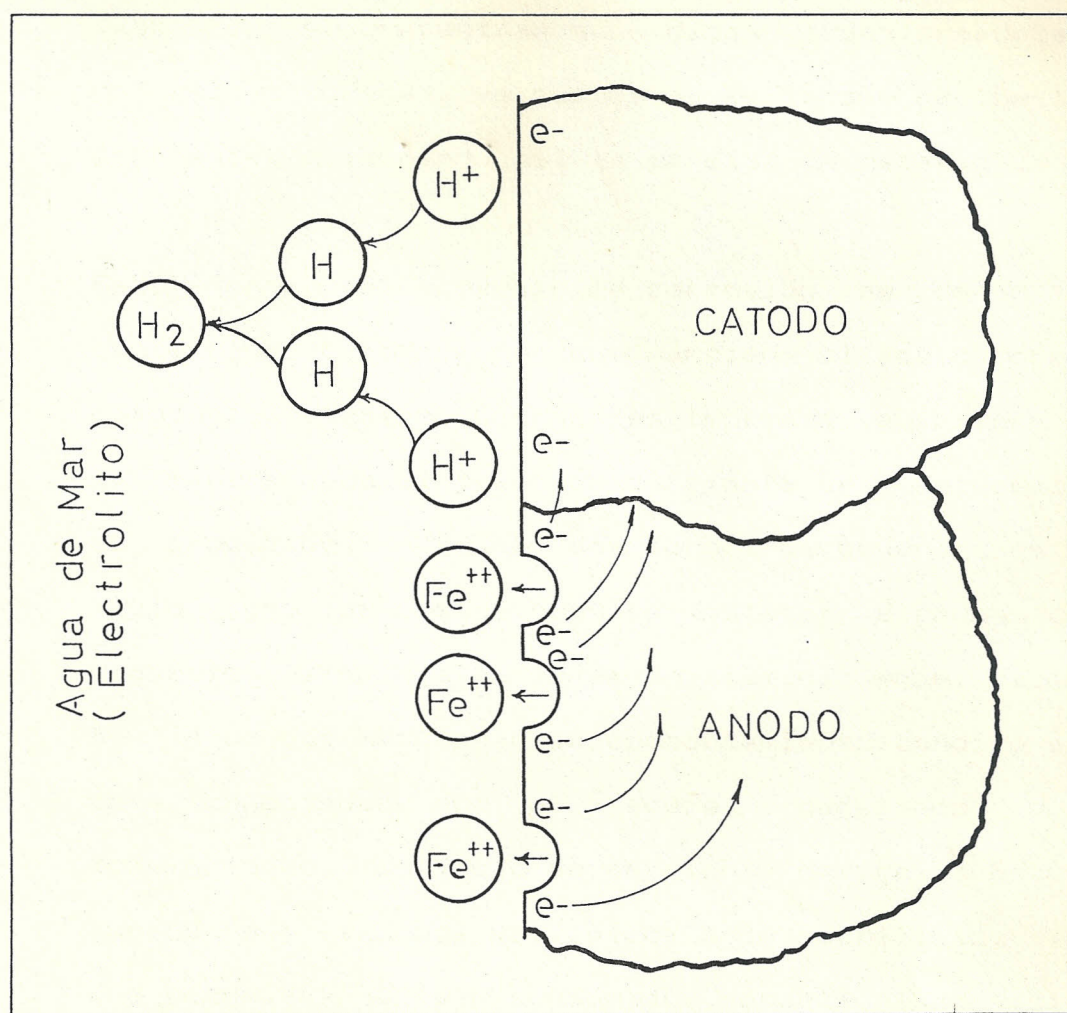


Fig. Nº 4 Formación de áreas anódicas y catódicas en una plancha de hierro sumergida en agua de mar.

La "Protección Catódica" previene la corrosión por eliminación de las áreas anódicas, enviando la corriente al agua desde electrodos especiales fijos llamados "Anodos". Esta corriente fluye a través del agua a todas las partes de la superficie del

casco que se encuentran sumergidas transformadolas en áreas catódicas, ya que esta es la que recibe la corriente, eliminando así la pérdida de material.

Esta forma de prevenir la corrosión se denomina protección catódica por que mantiene al acero como cátodo, el término Corrientes Impresas se refiere a la manera como el flujo de corriente de protección es producido. Existen dos formas de generar este flujo, uno de los métodos es instalar bloques de magnesio, zinc o aleaciones de aluminio en el casco a fin de que mantengan un comportamiento anódico al ser conectados con el acero, generando por consiguiente, un flujo de corriente natural. Estos ánodos son llamados galvánicos o de sacrificio, lo que significa que son consumidos durante el servicio y requieren de una renovación regular.

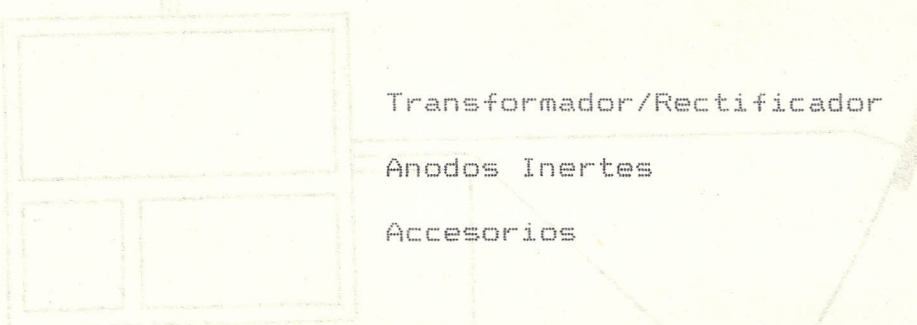
El método por "Corrientes Impresas" no usa ánodos consumibles, sino ánodos inertes (Titanio, Grafito, Hierro-Silicio, etc.) capaces de inyectar corriente continua al agua sin deteriorarse.

La energía requerida para este sistema es suministrada por una fuente externa de corriente alterna, que es por medio de un

Transformador/Rectificador es convertida a bajo voltaje de corriente continua. Debido a que la corriente es impresa en los ánodos, este método es llamado por "Corrientes Impresas".

2.2 PARTES DEL SISTEMA

Un sistema de protección catódica por corrientes impresas para estructuras navales se encuentra conformado por las siguientes partes (Ver figura Nº 5):



Transformador/Rectificador
Anodos Inertes
Accesorios

2.2.1 Transformador/Rectificador

Debido a que este es el equipo fundamental de un sistema por corrientes impresas, su instalación, especificación, operación y mantenimiento debe ser lo más cuidadoso posible para asegurar un buen desempeño de protección catódica.

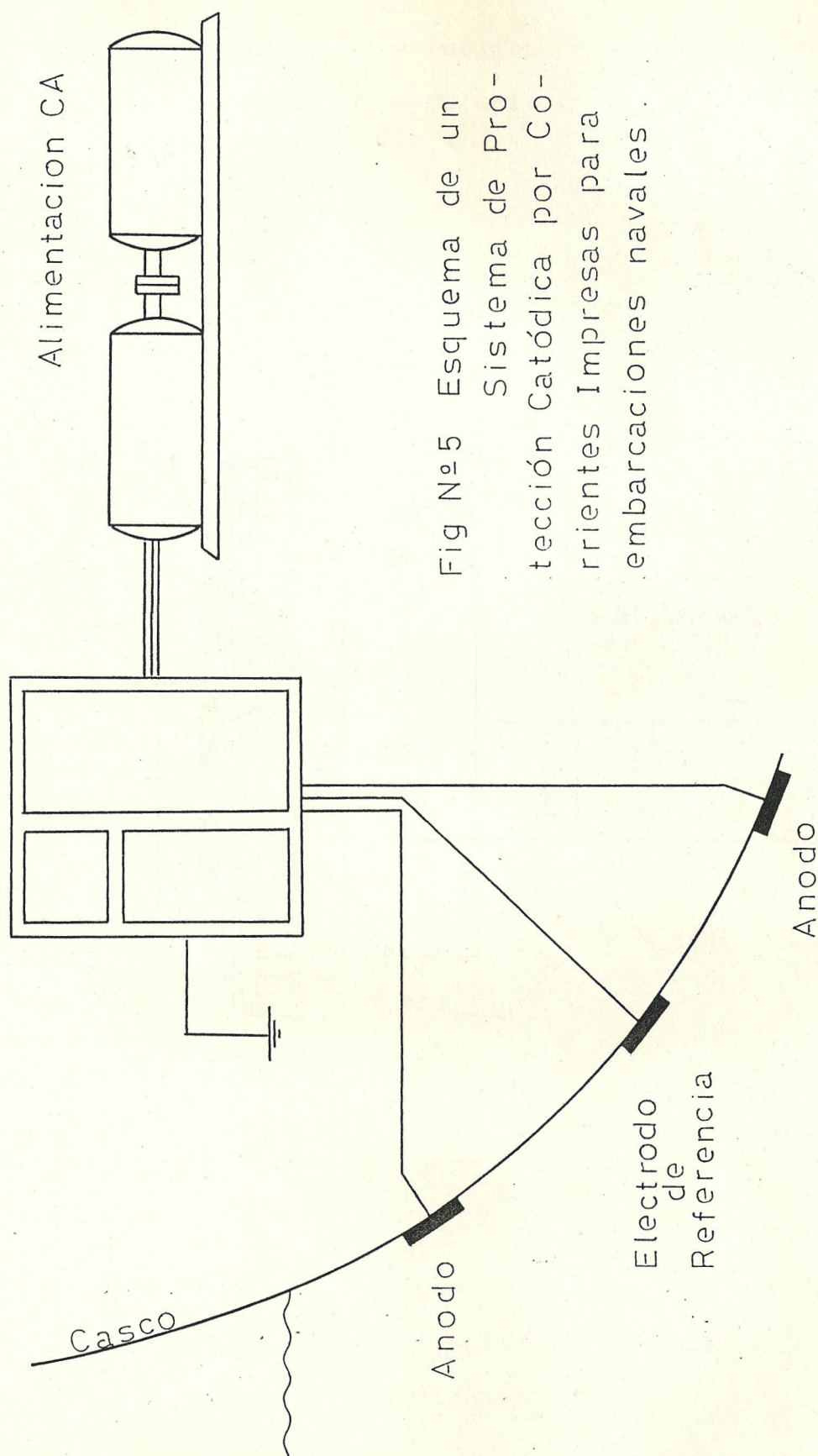


Fig N°5 Esquema de un Sistema de Protección Catódica por Corrientes Impresas para embarcaciones navales.

Las características principales de un T/R son
(Ver figura Nº 6):

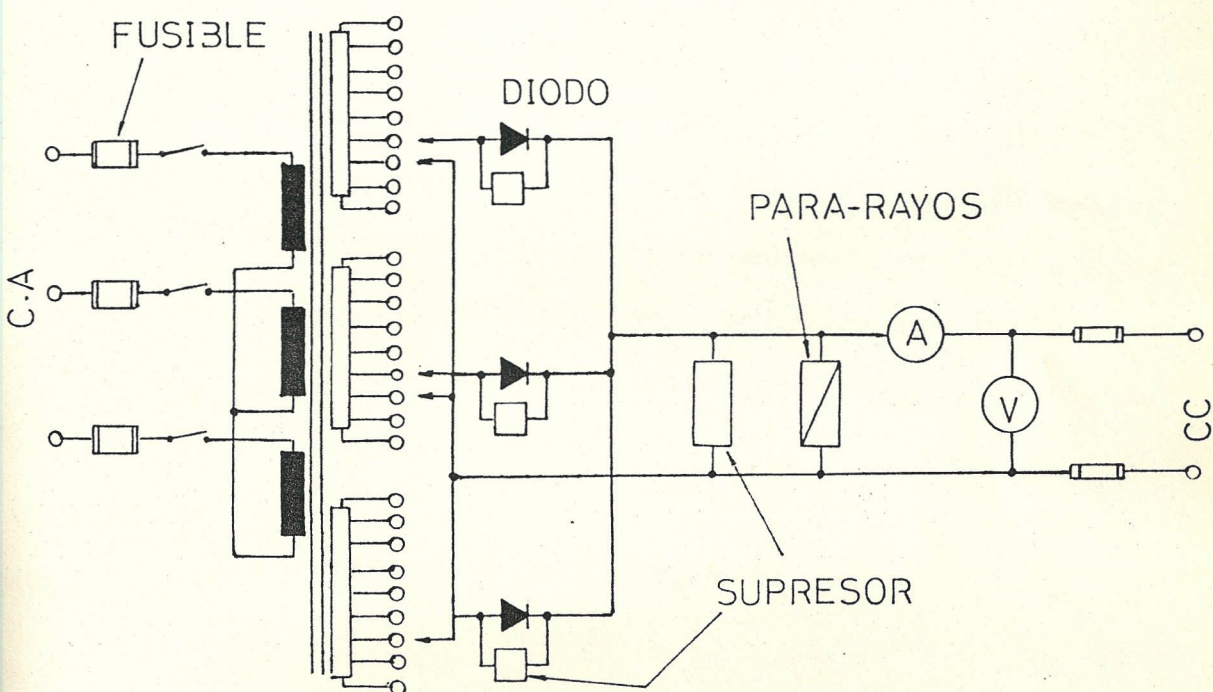


Fig. Nº 6 Esquema eléctrico de un Transformador/Rectificador para protección catódica.

- Alimentación en CA

Está definida en función de la disponibilidad de energía en el local de instalación. Normalmente se utilizan tensiones de 110, 220 y 440 V. En caso de necesidad se pueden usar rectificadores que admitan un voltaje diferente a los señalados.

Los rectificadores pueden tener alimentación trifásica o monofásica. Los trifásicos producen una corriente con mejores características de rectificación y poseen además un rendimiento más elevado, pero su precio es mayor.

- Elementos Rectificadores

Los materiales usados como elementos rectificadores son semiconductores de silicio o de selenio. Los rectificadores de silicio tienen un tiempo de vida mayor que los de selenio en condiciones normales. Además mantienen casi inalterables sus características eléctricas a lo largo del tiempo, lo que no ocurre con los de selenio.

cuyo rendimiento se tiende a reducirse gradualmente. Por otro lado, los de selenio resisten mejor a las tensiones transcientes y los de silicio exigen una sofisticación mayor en el circuito de protección de los elementos rectificadores. No existe una diferencia sensible de precio entre el uno y el otro, lo que hace difícil establecer un criterio rígido de selección. Se procura usar el de silicio en sistemas más estables, que presentan pequeñas variaciones, tanto en la alimentación como en la demanda de corriente y el de selenio en caso contrario.

- Sistemas de Refrigeración

Se usan rectificadores enfriados por aire o aceite. Los enfriados por aceite son usados en sitios cuya atmósfera es muy agresiva, como en el caso de ambientes marinos y además cuando el local exige instalaciones a prueba de explosión. En los demás casos se usan los rectificadores enfriados por aire.

- Tensión y Corriente Continua de Salida

La corriente continua máxima que un rectificador es capaz de producir está en función de la estructura a proteger y es definida en el proyecto.

La tensión máxima de CC está en función de la corriente máxima y de la resistencia del lecho de ánodos.

La corriente continua producida por un rectificador puede ser regulada por medio de variaciones de tensión. Tal regulación puede ser hecha manualmente (Rectificadores Manuales) o automáticamente (Rectificadores Automáticos). El funcionamiento del control de un rectificador automático es función del potencial estructura-electrolito. Una media celda (Normalmente de Ag/AgCl para el caso de agua de mar) es instalada en el electrolito, cercana a la estructura, por medio de la cual se lee, continuamente el potencial estructura-electrolito, tal lectura es recibida por un elemento sensor del rectificador, el cual actúa en el sistema de regulación, enviando más o menos corriente,

2.2.2 según sea necesario.

Su objetivo, por lo tanto, es mantener constante el potencial en un valor previamente fijado, que también es regulable.

Los rectificadores automáticos son indicados para sistemas en donde ocurren demandas variables de corriente, causadas por agentes extraños al sistema. Dos ejemplos típicos de aplicación son las embarcaciones y las tuberías sujetas a corrientes de interferencia.

Los rectificadores manuales son usados en lugares en donde no existen variaciones en la demanda de corriente; las regulaciones, hechas normalmente por medio de "Taps", son esporádicas, apenas para compensar el envejecimiento del revestimiento o un aumento de la resistencia de los lechos de ánodo, factores que ocurren siempre a lo largo del tiempo.

2.2.2 Anodos Inertes

Los ánodos utilizados en sistemas por corrientes impresas difieren fundamentalmente de los ánodos galvánicos por el hecho de ser inertes.

Presentan un desgaste muy inferior a los ánodos galvánicos, teniendo así una vida mucho más larga.

Las características principales a ser observadas son:

- Densidad de corriente admisible

Es un dato suministrado por el fabricante. La utilización de una densidad de corriente por encima de la máxima recomendada puede ser causa de un desgaste irregular seguido de la fractura del ánodo y, en ciertos casos da origen a la formación de productos aislantes en la superficie.

- Consumo del ánodo

Es función de la corriente a inyectar y del tiempo de vida deseado, tal característica puede ser un factor determinante del número de ánodos a usar.

- Dimensiones

La resistencia eléctrica del contacto entre el ánodo y el electrolito es función de las dimensiones del ánodo y de la resistividad del electrolito.

Por lo tanto, una vez definido el local de instalación, la resistencia de cada ánodo dependerá de sus dimensiones. Una disminución del largo o un incremento del diámetro del ánodo producirá una reducción de la resistencia, incluso la influencia del diámetro es mucho mayor que la de su longitud.

- Características químicas del material de fabricación de los ánodos

Son fabricados comercialmente ánodos de grafito, Fe-Si, Fe-Si-Cr, Pb-Ag-Sb, etc. Ver tabla III.

TABLA III
CARACTERISTICAS TIPICAS DE ALGUNOS ANODOS INERTES

MATERIAL	Dc (Amp/m ²)	DESGASTE (Kg/Amp-año)
Grafito	3-11	0.40
Fe(86%) - Si(14%)	11-54	0.20
Fe(82%) - Si(14%) - Cr(4%)	11-54	0.45
Pb(93%) - Sb(6%) - Ag(1%)	54-110	0.10
Ti-Platinizado	gran campo	despreciable

Los ánodos de grafito pueden ser usados tanto en suelo como en agua, más su mayor aplicación es en suelo. Esto es debido a que admiten baja densidad de corriente y, en general en el suelo este no es un factor preponderante; normalmente necesitamos de un número tal de ánodos (a fin de obtener una

baja resistencia) por lo que la corriente inyectada por ánodo será pequeña.

En el agua de mar no existe el problema de resistencias altas. Más como la demanda de corriente para la protección de estructuras sumergidas, en general es elevada, si se usaran ánodos de grafito se necesitaría de un gran número de ellos para atender los requisitos de densidad de corriente por ánodo; por lo que se torna así, más económico el uso de ánodos de Fe-Si-Cr o de Pb-Ag-Sb, que admiten densidades de corriente mucho mayores.

Los ánodos de Fe-Si son indicados para el uso en suelos, en donde no se encuentran iones cloruros. Admiten una densidad de corriente mucho mayor que los de grafito.

Los de Fe-Si-Cr son resistentes a los iones cloruros pudiendo ser usados tanto en suelos como en agua de mar.

Los ánodos de Pb-Ag-Sb se usan específicamente en agua de mar. Admiten

EBE 0100

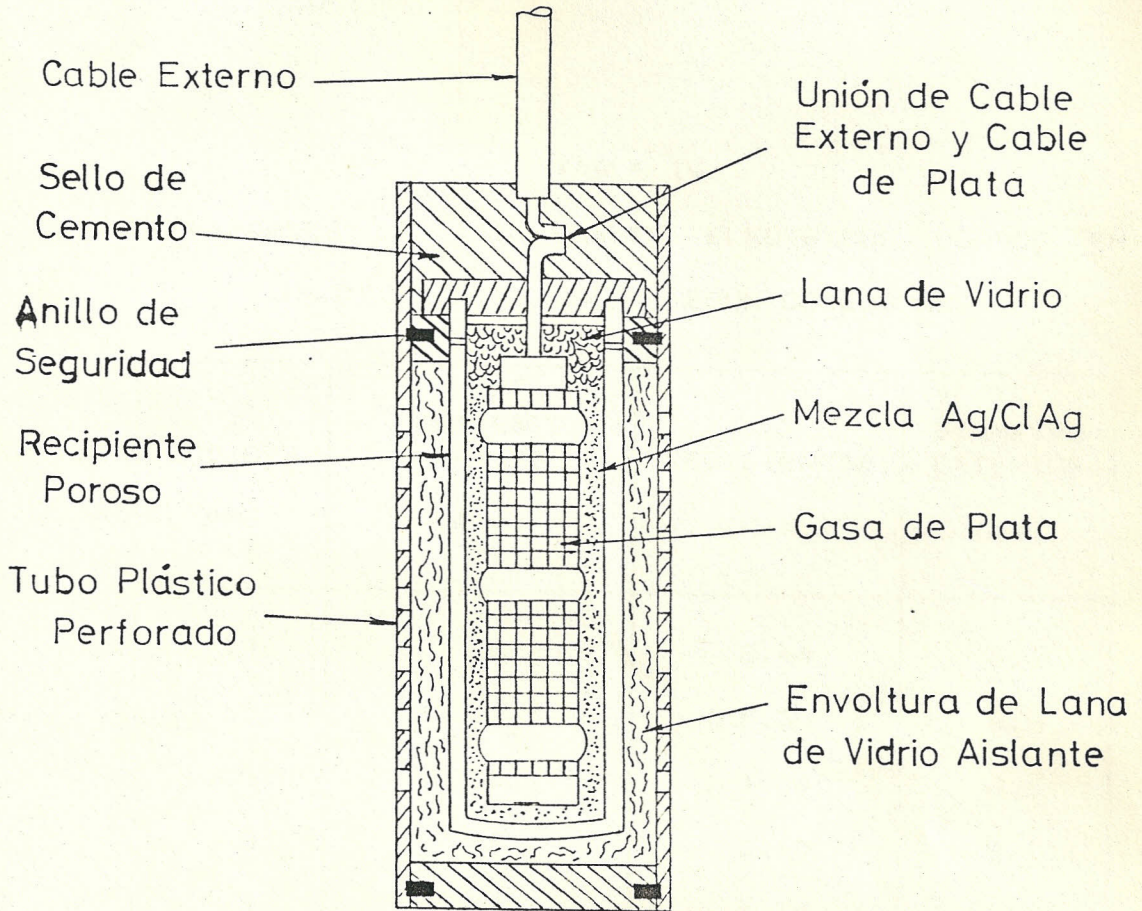


Fig. Nº 7

Electrodo de referencia de Ag/ClAg

b) Cables Eléctricos.- Son los encargados de conducir la corriente desde el T/R hacia los ánodos inertes. Son del tipo HMWPE-PC (Hight Molecular Weight Polyetilene para protección catódica), que nos aseguran un revestimiento totalmente impermeable. La tabla IV presenta

las características técnicas de los cables según el código de la American Wire Gauge (AWG) como de referencia por el potencial de

protección ajustado manualmente por el operador. La respuesta del controlador es

TABLA IV

PROPIEDADES DE LOS CABLES ELECTRICOS USADOS EN PROTECCION CATODICA SEGUN CODIGO AWG

CODIGOS AWG	CORRIENTE MAXIMA (Amp)	RESISTENCIA (Ω /Km)	DIAMETRO EXTERIOR (mm)
14	15	8.44	5.6
12	20	5.30	6.0
10	30	3.34	6.6
8	45	2.10	8.1
6	65	1.34	10.3
4	85	0.83	11.5
3	100	0.68	12.3
2	115	0.52	13.1
1	130	0.43	14.9
1/0	150	0.33	16.7
2/0	175	0.26	17.9
3/0	200	0.20	19.2
4/0	230	0.16	20.6

c) Sistemas de Control.- Este compara la diferencia de potencial producido por el electrodo de referencia con el potencial de protección (ajustado manualmente por el operador). La respuesta del controlador es el ajuste automático al potencial interno deseado para el caso de rectificadores automáticos.

d) Blindajes para Anodos.- Con el objeto de evitar daños a la pintura del casco en las inmediaciones de los ánodos, cada uno de estos debe ser instalado sobre un blindaje, normalmente un revestimiento de polyester-fibra de vidrio, o a base de epoxi.

Para el caso particular del dique Amazonas no será necesario el uso de ningún tipo de revestimiento ya que por tratarse de una unidad estacionaria los ánodos se instalarán de tal forma que se evite la perforación del casco.

e) Dispositivos para el Montaje de los Anodos y de los Electroodos de Referencia.-

Los cables eléctricos que ligan al T/R con

los ánodos y los electrodos de referencia son protegidos por medio de electroductos instalados en la parte interna del casco. Para la unión de los cables eléctricos a los ánodos y electrodos de referencia son usadas cajas apropiadas llamadas "Cofferdams", soldadas en la parte interna del casco como se muestra en la figura Nº 8.

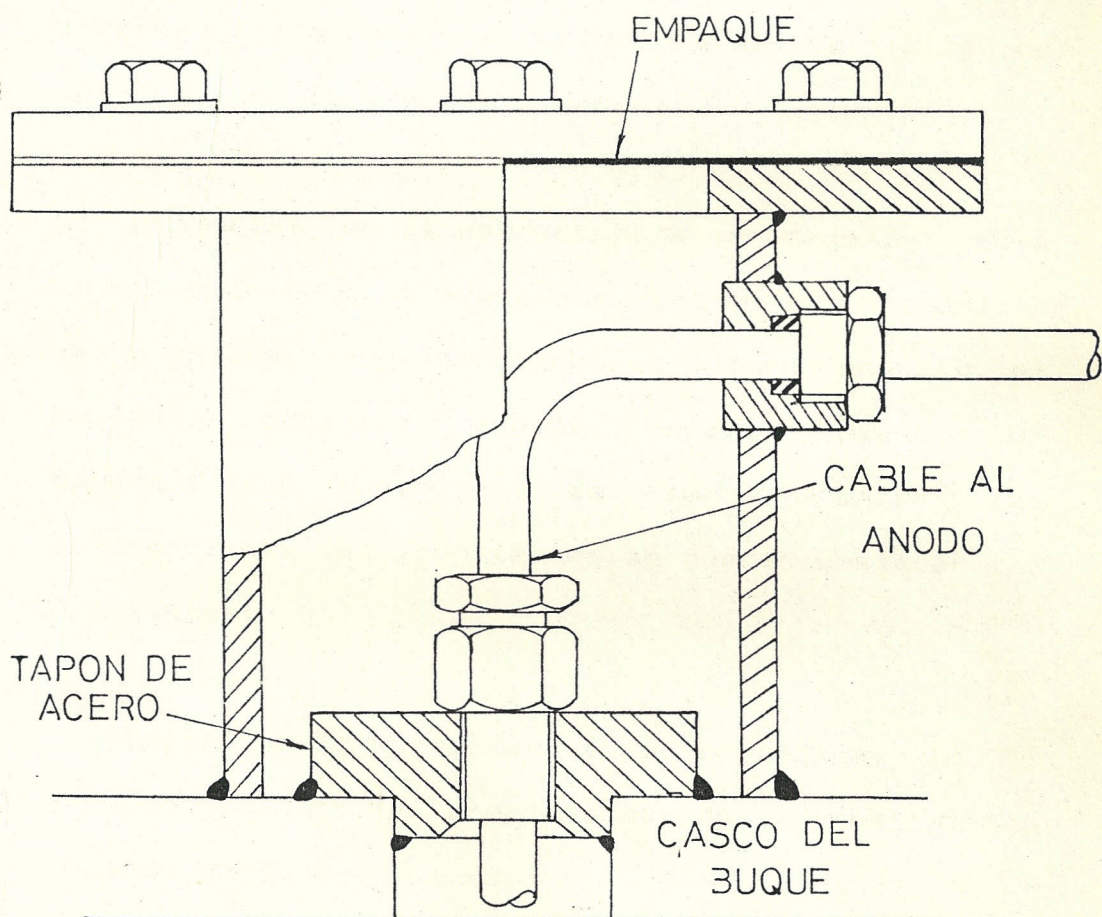


Fig. Nº 8 Cofferdam. Penetración del cable eléctrico a través del casco.

Esta caja no es necesaria para el caso del dique Amazonas por la misma razón anotada en el literal anterior.

2.3 SECUENCIA OPERATIVA DE DISEÑO

La secuencia llevada a cabo para el diseño de un sistema de protección catódica por corrientes impresas para una estructura naval se la puede desglosar de la siguiente manera:

a) Historial de la estructura a proteger.— Esta información es una ayuda auxiliar en la prevención de problemas de corrosión que pueden ocurrir en cualquier momento; además, permiten planear un programa de mediciones de campo. Entre las informaciones más importantes se pueden destacar las siguientes:

- Material de la estructura a ser protegida.
- Especificación y propiedades del revestimiento usado en la estructura.
- En el caso de estructuras que se encuentren en operación, se hace necesario conocer los problemas serios de corrosión que hayan sucedido en épocas

pasadas.

- Características y dimensiones geométricas de la estructura.
- Planos y diseños detallados de la estructura en estudio.
- Localización de otras estructuras metálicas que se aproximen a la estructura a ser protegida.
- Presencia o no de sistemas de protección catódica ya existentes de esas estructuras extrañas.
- Localización de todas las fuentes de corriente continua existentes en las proximidades que puedan causar cualquier problema de corrosión electrolítica en la estructura metálica.
- Localización y características de todas las líneas de corriente alterna existentes que puedan ser utilizadas para la alimentación de los rectificadores del sistema de protección.

b) Cálculo de la resistividad eléctrica del medio.-

Este es uno de los factores que influyen más en la corrosión de una estructura metálica.

La baja resistividad de las aguas las hacen altamente corrosivas. El agua de mar tiene una resistividad aproximada de 26 Ω -cm y el agua dulce a temperatura ambiente puede llegar a tener

resistividades tan altas como 25000 Ω -cm en algunos lugares. Observación: una alta conductividad eléctrica es producto de una baja resistencia.

Para medir la resistividad eléctrica del electrolito (agua de mar) se usa comunmente una caja rectangular llamada "Soil Box" que parte del siguiente principio: la resistencia de un cuerpo rectangular de alguna sustancia cuando es medida entre caras paralelas es directamente proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su sección transversal. Expresando este principio en términos matemáticos se tiene:

$$R = P L/A \quad (2.1)$$

Donde : R = Resistencia en Ω

L = Longitud

A = Area transversal

P = Resistividad de la sustancia

Despejando la resistividad tenemos:

$$P = R A/L \quad (2.2)$$

En donde el factor A/L se transforma en una constante para una caja determinada, quedando la ecuación 2.2 de la siguiente manera:

$$P = RC$$

(2.3)

La constante C se denomina "Constante de Caja" y es construida convenientemente para dar valores que faciliten el cálculo, como por ejemplo de 10, 1 ó 0.1. Esta constante, generalmente viene dada en centímetros con la finalidad de obtener la resistividad en $\Omega\text{-cm}$.

La figura NO 9 nos muestra un diseño de esta caja, la cual está hecha de un material no conductor, normalmente plástico, y posee dos placas metálicas en sus extremos con dos pines insertados a los costados. El procedimiento que se lleva para la medición consiste en llenar la caja con la sustancia que se desea ensayar (para el caso de esta tesis será agua de mar) y realizar las conexiones mostradas en la figura. Los valores de potencial ΔE y de corriente I medidos mediante un voltímetro y amperímetro respectivamente nos dan en forma directa el valor de la resistencia R , usando la razón $R = \Delta E / I$. Con este dato y usando la fórmula 2.3 se obtiene la medida de resistividad de la sustancia deseada.

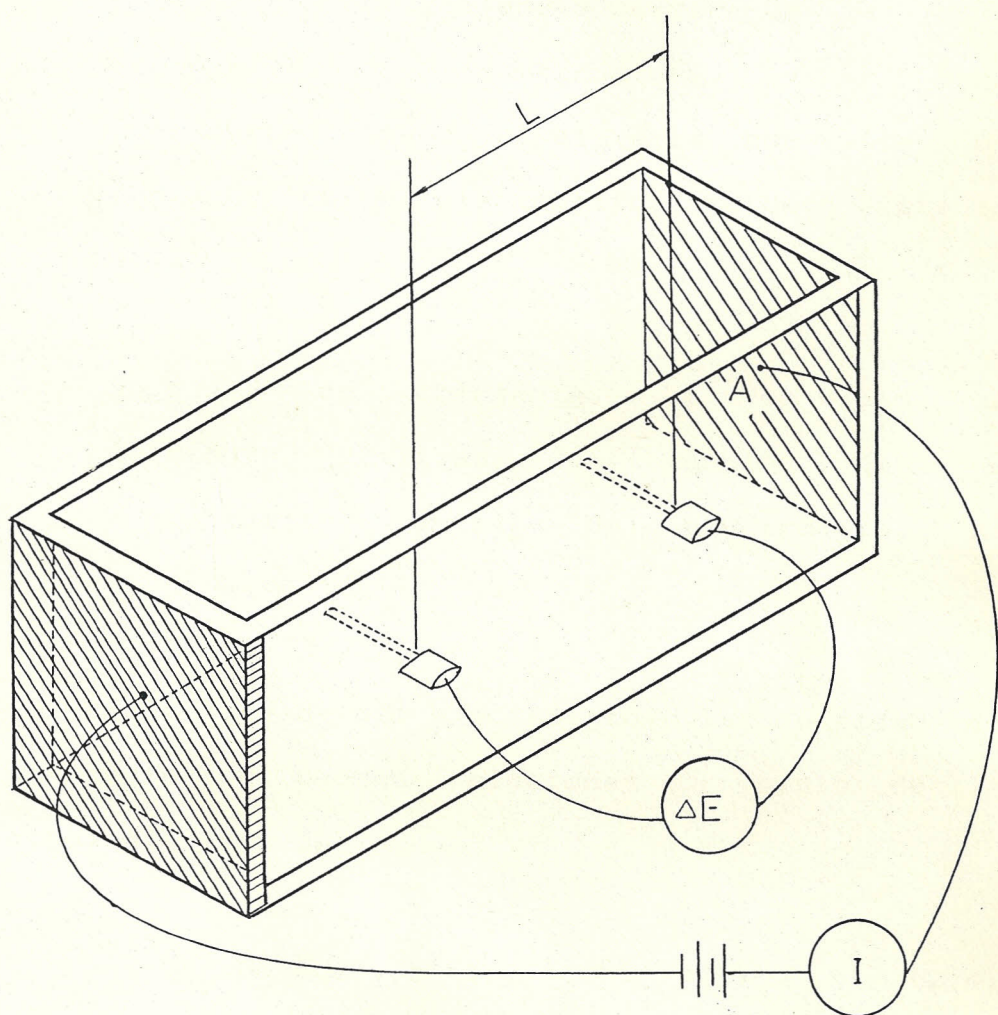


Fig. Nº 9 Soil Box con su respectivo circuito.

c) Cálculo de la corriente teórica de protección.-
Se puede calcular esta corriente en función de las siguientes informaciones:

S : Superficie de la estructura a ser protegida.-

Este dato se obtiene a partir de la forma geométrica de la estructura, y se debe considerar solamente el área que está en contacto con el electrolito, se debe expresar en m^2 .

Dc: Densidad de corriente.- La densidad de corriente utilizada es función de la resistividad eléctrica del electrolito, se expresa en mA/m^2 .

La resistividad del electrolito y la densidad de corriente se pueden relacionar por medio de la siguiente fórmula:

$$Dc = 13.35 \log (10^{5.523} / P) \quad (2.4)$$

El valor de P también puede ser calculado usando el gráfico de la figura N° 10.

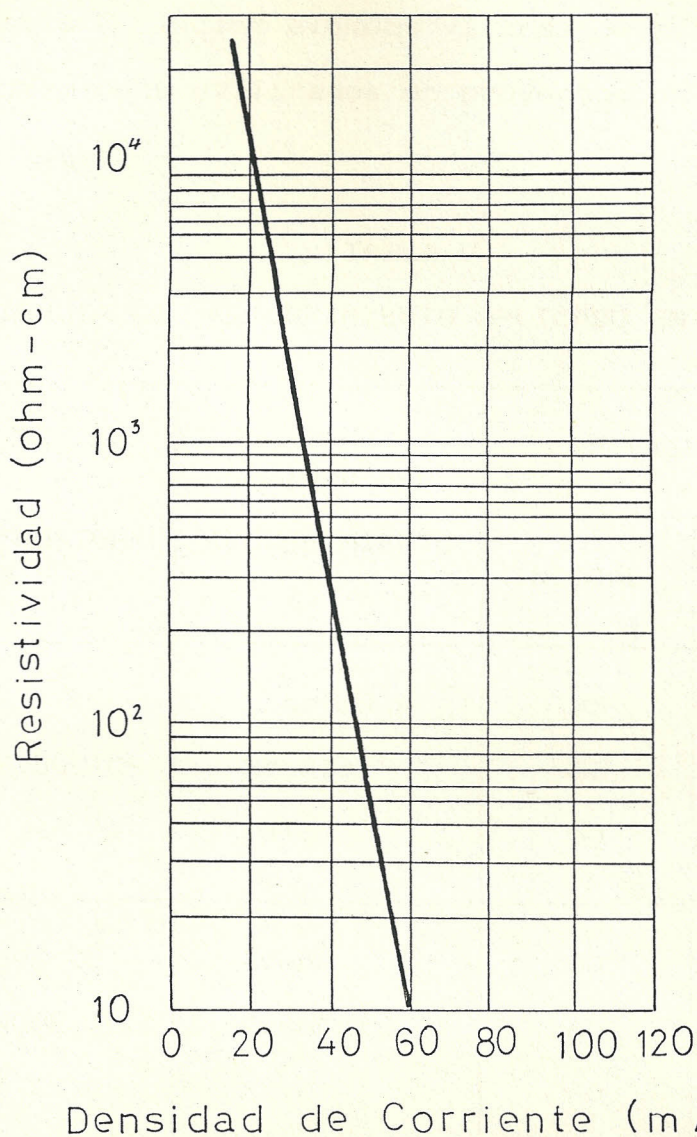


Fig. Nº 10 Variación de la densidad de corriente de protección con la resistividad.

E : Eficiencia del revestimiento.- Naturalmente una estructura revestida necesitará para su protección de una cantidad de corriente menor de la que sería necesaria si la estructura estuviese sin revestimiento.

La tabla V indica algunos valores de eficiencia del revestimiento utilizados en proyectos de protección catódica.

TABLA V
 EFICIENCIA DEL RECUBRIMIENTO APLICADO EN ESTRUCTURAS

ESTRUCTURA	CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO	EFICIENCIA (%)	
		INICIAL	FINAL
OLEODUCTOS	Excelente	95	90
	Regular	80	50
	Malo	50	--
FONDO DE TANQUES (EXTERIOR)	Bueno	80	60
	Regular	60	40
	Malo	40	--
EMBARCACIONES NAVALES	Excelente	95	90
	Bueno	90	80
	Regular	80	50
	Malo	50	--

La estimación de la eficiencia del revestimiento establece un mayor o menor coeficiente de seguridad

para el cálculo de la corriente de protección.

F : Factor de corrección de velocidad.- Este coeficiente se adopta cuando existe movimiento relativo entre estructura y electrolito, y puede ser obtenido a través de la figura Nº 11.

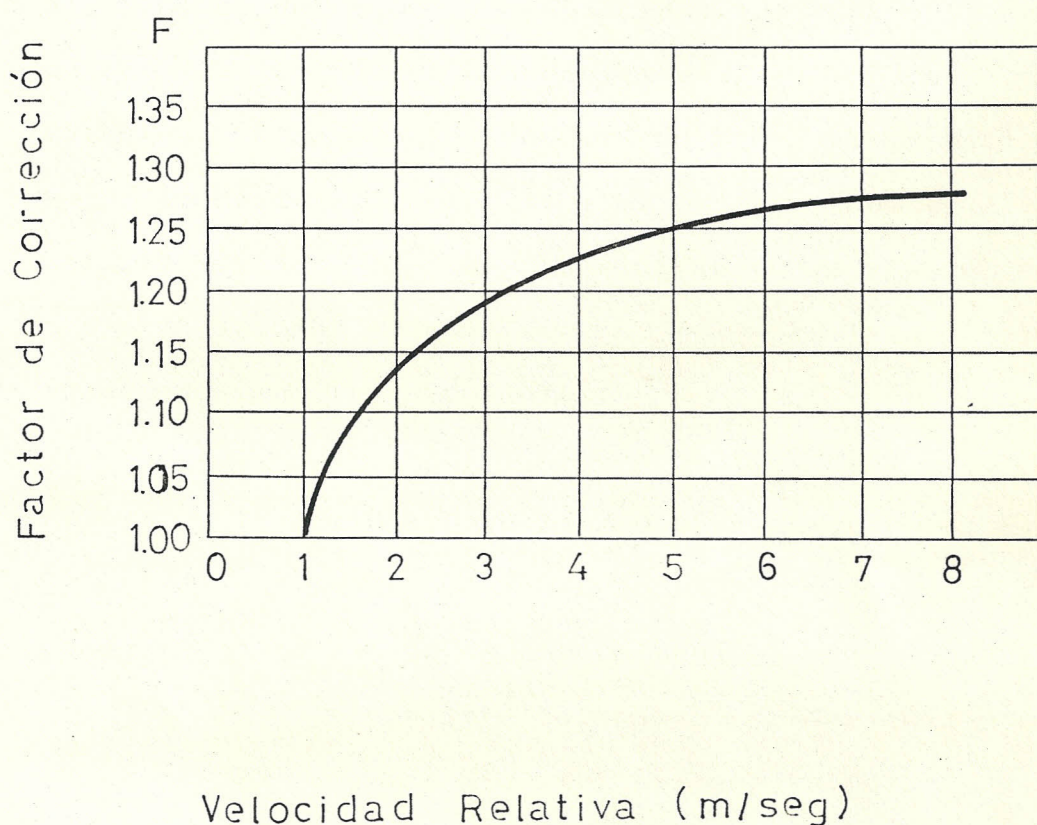


Fig. Nº 11. - Factor de corrección de corriente en función de la velocidad del electrolito.

La corriente teórica (I_t) total necesaria de protección estará dada, entonces por la siguiente fórmula:

$$I_t = S D_c F (1-E) \quad (2.5)$$

d) **Número de Ánodos.**— Conocida la cantidad de corriente que se va a suministrar, se procede a calcular el número de Ánodos, no sin antes haber hecho la selección respectiva de estos y conocer las características propias ya que difieren de acuerdo a especificaciones dadas por el fabricante. Las ecuaciones son las siguientes:

$$M = D VU I_t / 0.85 \quad (2.6)$$

Donde : M = Masa de Ánodos (Kg)
 D = Desgaste del Ánodo (Kg/Amp-año)
 VU = Vida Util del sistema (años)
 0.85 = Factor de utilización del Ánodo

$$n = M / m_a \quad (2.7)$$

Donde : n = Número de Ánodos
 m_a = Masa unitaria anódica

$$i = I_t / n \quad (2.8)$$

Donde : i = Descarga de corriente teórica por Ánodo (Amp)

Donde I_t = Resistencia total del circuito

Con el propósito de asegurar un buen diseño del sistema, la descarga de corriente teórica de cada ánodo obtenida por la fórmula anterior debe ser menor o igual a la descarga de corriente nominal (i_n) del ánodo que debe ser dada por el fabricante. Es decir debe cumplirse que:

$$i \leq i_n \quad \text{Considera} \quad (2.9)$$

f) Resistencia eléctrica del circuito.- En este análisis se distinguen dos resistencias que obtenidas de diferentes formas deberán cumplir con la condición de que el sistema opere en condiciones normales, es decir:

Para el caso de ánodos dispuestos en forma vertical:

$$R_{T/R} \geq 1.2 \quad R_T \quad (2.10)$$

Lo cual significa que la resistencia del T/R ($R_{T/R}$) debe ser mayor o igual al 120% de la resistencia total del circuito (R_T).

Además:

a) Selección del Transformador/Rectificador. Se

recomienda que un T/R trabaje a un 50% de su carga

$$RT = Ra + Rce + Rc \quad (2.11)$$

donde, por lo tanto debe cumplirse que:

Donde : RT = Resistencia total del circuito

$$I_{an} = 1.25 I_t \quad (2.12)$$

Ra = Resistencia del contacto ánodo-electrolito

con la corriente que pasa por la rama interior y

Rce = Resistencia de los cables eléctricos. La tabla IV presenta los

resistencia de los cables 2.11 la potencia

calcular el voltaje del circuito (0.8V) de la

cables más utilizados en protección

siguiente manera:

Rc = Resistencia de la estructura, la

cual se considera despreciable

por otro lado debido a las grandes superficies a

de seguridad de proteger. Se selecciona el voltaje de

salida del T/R, por lo tanto:

La resistencia del contacto ánodo-electrolito está

determinada por fórmulas empíricas que varían de

acuerdo a la forma y disposición de los ánodos.

Para el caso de ánodos dispuestos en forma vertical

será:

$$Ra = 0.0125 / I_{an} \quad (2.13)$$

$$Ra = (P / 2\pi n l) [\ln(8l/d) - 1 + (2l/s) \ln(0.656n)] \quad (2.12)$$

Una vez obtenido este dato, se calcula el área

Donde : l = Longitud del ánodo (cm) con 2.10 para

de este d = Diámetro del ánodo (cm) según

s = Separación entre ánodos (cm)

g) Selección del Transformador/Rectificador.- Se recomienda que un T/R trabaje a un 80% de su carga nominal, por lo tanto debe cumplirse que:

$$I_{T/R} = 1.25 I_t \quad (2.13)$$

Con la corriente obtenida de la fórmula anterior y la resistencia R_T de la fórmula 2.11 se procede a calcular el voltaje del circuito (ΔE_c) de la siguiente manera:

$$\Delta E_c = I_{T/R} R_T \quad (2.14)$$

Por otro lado también es recomendado darse un factor de seguridad de 1.25 para establecer el voltaje de salida del T/R, por lo tanto:

$$\Delta E_{T/R} = 1.25 \Delta E_c \quad (2.15)$$

La resistencia del T/R estará dada entonces por:

$$R_{T/R} = \Delta E_{T/R} / I_{T/R} \quad (2.16)$$

Una vez obtenido este último resultado se debe verificar el cumplimiento de la condición 2.10 para de esta manera, dar por concluido el diseño.

2.4 FACTIBILIDAD DE IMPLANTACION DEL SISTEMA EN EL DAE RIO AMAZONAS

La factibilidad de implantación del sistema de protección propuesto en el dique Amazonas debe ser analizada desde los puntos de vista técnico y económico, efectuando una comparación tanto del sistema actual como del que se desea instalar. Así tenemos:

a) **Aspecto Técnico.**— Las consideraciones técnicas juegan un papel importante cuando se desea cambiar un sistema de protección catódica.

A continuación se detallan los puntos que deben ser examinados al mismo tiempo que se procede a analizar cada uno de ellos para el caso particular del dique Amazonas:

— **CORRIENTE DE PROTECCION.** El sistema por corrientes impresas produce mayores cantidades de corriente que los ánodos de sacrificio. Además esta corriente puede ser controlada, lo que permite una protección adecuada y más confiable, disminuyendo considerablemente los daños por corrosión.

- RECUBRIMIENTO DE LA ESTRUCTURA. El dique Amazonas es una unidad con muchos años de servicio, por consiguiente su planchaje ha sido renovado en diferentes partes, esto quiere decir que su estructura está compuesta por material nuevo y viejo. Es en las zonas conformadas por material vetusto en donde se crean problemas con la capacidad de fijación del recubrimiento (Ver figura Nº 12), por lo que la protección catódica, en estas zonas no es muy eficiente cuando se utilizan ánodos galvánicos. Por otro lado se conoce que la protección por corrientes impresas puede ser aplicada en estructuras pobremente revestidas, por poseer la ventaja de controlar la corriente de protección.

Fig. Nº 12. Estructura del dique Amazonas.

- MANTENIMIENTO. El equipo de protección catódica por corrientes impresas requiere de un mantenimiento periódico, aunque es de fácil realización, tal como se verá en el capítulo siguiente.

- CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA. Un sistema de protección por corrientes impresas necesita del consumo de energía eléctrica para su funcionamiento, lo que origina un gasto

económico adicional, a pesar de no ser elevado.



Fig. Nº 12 Parte del planchaje de la obra viva
del dique Amazonas.

- INTERFERENCIA CON ESTRUCTURAS CERCANAS. El utilizar corrientes impresas puede producir interferencias a otros sistemas operando en estructuras cercanas, originando corrientes parásitas que crean problemas de corrosión electrolítica al sistema de protección montado en dicha estructura.

- DIMENSION DE LA ESTRUCTURA. El uso de ánodos galvánicos resulta muy costoso cuando la estructura que se desea proteger posee grandes dimensiones, esto es debido a la gran cantidad de ánodos que se emplearían en dicha protección, por lo tanto en estos casos es recomendable utilizar corrientes impresas.

CAPÍTULO III

Un buen criterio para determinar si una estructura es o no es de gran tamaño se basa en calcular su corriente de protección y si esta resultara mayor a cinco amperios se puede decir que se trata de una estructura de grandes dimensiones.

3.1.1 Resistividad Eléctrica del Medio

b) Aspecto Económico.- El estudio económico consiste en realizar un análisis comparativo de los costos de instalación y operación de ambos sistemas, calculando separadamente el importe por:

Una Fuente de Corriente Continua

- Materiales
- Instalación
- Funcionamiento
- Mantenimiento
- Gastos Indirectos

TÉCNICA OPERATIVA:

En el análisis de costos que se verá en el capítulo III se examinarán detalladamente cada uno de estos puntos efectuando la comparación antes mencionada.

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

3.1 TOMA DE DATOS

3.1.1 Resistividad Eléctrica del Medio

EQUIPO UTILIZADO:

- Dos multímetros digitales
- Una fuente de Corriente Continua
- Una caja de resistividad de constante
 $C = 1 \text{ cm}$
- Cables para conexiones

TECNICA OPERATIVA:

- a) Tomar muestras de agua mensualmente durante el periodo de un año en las zonas de

TABLA VI

RESISTIVIDAD DEL AGUA DEL ESTERO SALADO EMPLEANDO
AL AGUA MARINERA

RES

BARCO

ESTACION

FECHA

POCA

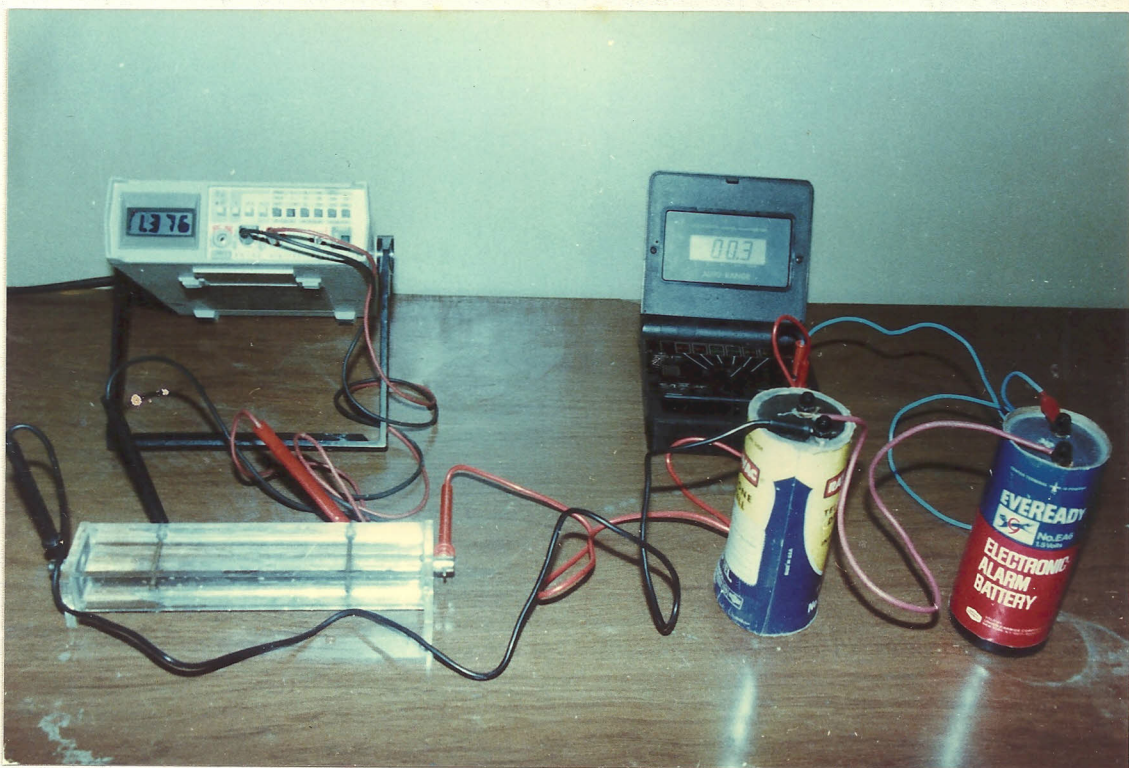


Fig. Nº 13 Ensayo de resistividad del
electrolito.

TABLA VI
RESISTIVIDAD DEL AGUA DEL ESTERO SALADO CIRCUNDANTE
AL DIQUE AMAZONAS

MES		BABOR	ESTRIBOR	PROA	POPA
E N E	V (mV)	2350	2320	2350	2370
	I (mA)	77.6	77.1	76.3	80.1
	P (Ω cm)	30.3	30.1	30.8	29.6
F E B	V (mV)	2360	2370	2370	2360
	I (mA)	77.1	79.0	79.5	77.4
	P (Ω cm)	30.6	30.0	29.8	30.5
M A R	V (mV)	2370	2360	2340	2330
	I (mA)	79.6	79.3	78.9	78.7
	P (Ω cm)	29.8	29.8	29.7	29.6
A B R	V (mV)	2350	2360	2370	2360
	I (mA)	79.9	81.1	79.5	80.6
	P (Ω cm)	29.4	29.1	29.8	29.3
M A Y	V (mV)	2380	2390	2380	2380
	I (mA)	81.3	81.6	81.4	81.1
	P (Ω cm)	29.3	29.3	29.2	29.3
J U N	V (mV)	325	370	380	400
	I (mA)	11.0	12.7	13.1	13.7
	P (Ω cm)	29.5	29.1	28.9	29.2

Valores tomados entre 20/12/82 a mayo/83

(Sigue...)

(Continuación..)

TABLA VI
RESISTIVIDAD DEL AGUA DEL ESTERO SALADO CIRCUNDANTE
AL DIQUE AMAZONAS

MES		BABOR	ESTRIBOR	PROA	POPA
J U L	V (mV) I (mA) P (Ω cm)	2330 81.3 28.7	2350 81.5 28.8	2270 80.5 28.2	2320 78.8 29.5
A G O	V (mV) I (mA) P (Ω cm)	2340 81.8 28.6	2320 82.0 28.3	2360 81.7 28.8	2290 78.4 29.2
S E P	V (mV) I (mA) P (Ω cm)	2350 83.3 28.2	2360 81.9 28.8	2370 83.2 28.5	2360 81.4 29.0
O C T	V (mV) I (mA) P (Ω cm)	2270 79.1 28.7	2280 80.0 28.5	2280 79.2 28.8	2380 81.7 29.1
N O V	V (mV) I (mA) P (Ω cm)	2320 79.5 29.2	2320 78.4 29.6	2340 82.1 28.5	2370 83.3 28.5
D I C	V (mV) I (mA) P (Ω cm)	2380 81.0 29.4	2360 79.5 29.7	2280 77.0 29.6	2320 79.5 29.2

* Valores tomados desde Junio/88 a Mayo/89

3.1.2 Potencial Estructura-Medio

EQUIPO UTILIZADO:

- Un multímetro digital
- Un electrodo de referencia Ag/AgCl

TECNICA OPERATIVA:

- Tomar seis lecturas, dos en banda de babor, dos en banda de estribor, una en proa y otra en popa;
- El punto del casco en donde se desea ensayar debe ser limpiado a tal grado de llegar al metal blanco;
- Tomar lecturas de potencial de acuerdo al circuito mostrado en la figura Nº 14; y,
- Tabular datos (Tabla VII).

Fig. Nº 14: Circuito para la toma de potencial estructura-medio.

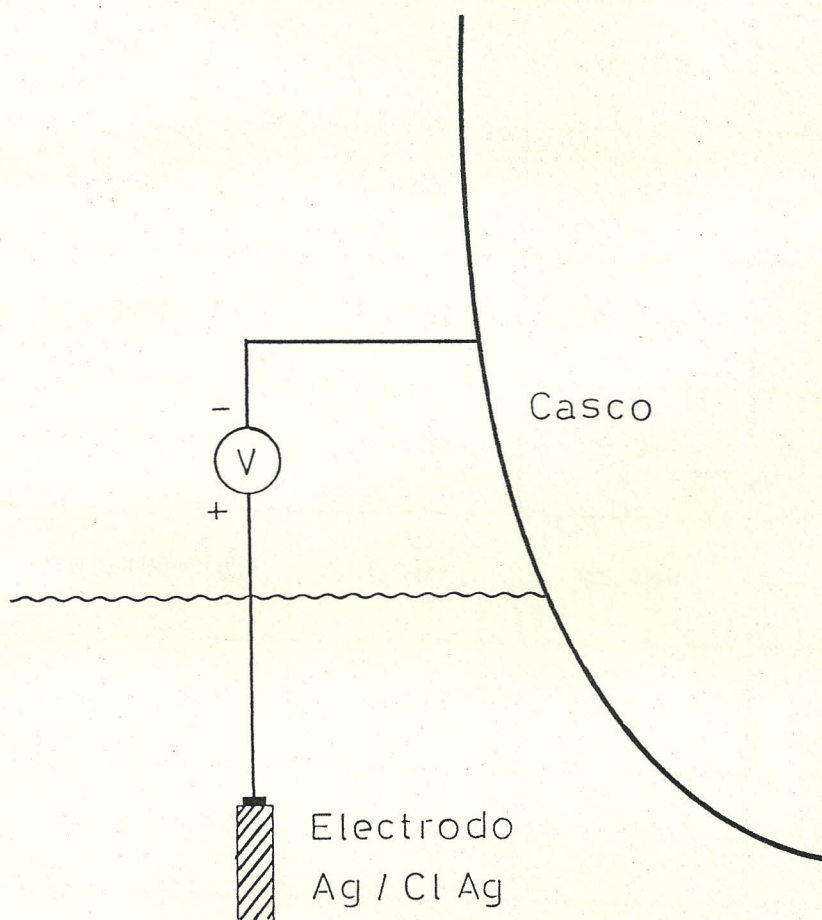


Fig. Nº 14 Circuito para toma de potencial estructura-electrolito.

TABLA VII
POTENCIAL ESTRUCTURA-ELECTROLITO DEL DIQUE AMAZONAS

ZONA \ MES	ENE/88	JUN/88	JUL/88
PROA	0.925	0.972	0.941
POPA	0.962	0.976	0.940
ESTRIBOR-PROA	0.954	0.980	0.938
ESTRIBOR-POPA	0.987	0.984	0.937
BABOR-PROA	0.928	0.950	0.954
BABOR-POPA	0.986	0.986	0.948

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA

3.2.1 Corriente a Imprimir

Para calcular la corriente de protección se debe partir de los siguientes datos:

$S = 4580 \text{ m}^2$ Superficie de la obra viva. Dato proporcionado por el Departamento Técnico de ASTINAVE.

$P = 28.2 \text{ } \Omega\text{-cm}$ Resistividad del electrolito. Se seleccionó el menor valor de la tabla VI con la finalidad de colocarnos en la situación más crítica.

$F = 1$ Factor de corrección de velocidad. Se ha dado el valor de la unidad debido a que el dique permanece estático en su muelle.

$E = 0.70 \text{ (70\%)}$ Eficiencia del revesti-

de tipo I, TAJ, TAA miento. Se dá un valor bajo con el propósito de la tabla III de obtener una vida útil a largo plazo, es el caso de:

Seguidamente se calcula la densidad de corriente partiendo de la fórmula 2.4

$$\text{Por la Eq. } Dc = 13.35 \log (10^{5.523} / 28.2) \text{ años.}$$

$$\text{Y obteniendo } Dc = 54.37 \text{ mA/m}^2 \text{ de ánodo.}$$

Finalmente empleando la ecuación 2.5 se obtiene la corriente teórica de protección la misma que será:

$$\text{De esto } It = 4580 \times 54.37 \times 1 \times (1 - 0.7)$$

$$\text{Entonces } It = 74.71 \text{ Amp.}$$

explicados en el capítulo II.

3.2.2 Selección del Anodo Inerte

Respecto a:

Se va a trabajar con ánodos de Fe-Si-Cr comercialmente conocidos en nuestro medio.

Se va a utilizar 3.0 Amp.

Como se puede apreciar en el apéndice A1 los ánodos recomendados para agua de mar son los

de tipo J, TAJ, TA4, E, TAE, TA5, SM, TA5A.

La tabla III da a conocer el valor del desgaste esperado para estos ánodos, el cual será:

$$D = 0.45 \text{ Kg/Amp-año}$$

Por lo tanto, dando una vida útil de 16 años, y utilizando la ecuación 2.6, se tiene:

$$M = 0.45 \times 16 \times 74.71 / 0.85$$

$$M = 633 \text{ Kg}$$

Ahora ya se puede pasar a analizar cada uno de estos ánodos, seleccionando aquellos que cumplan con los requisitos de diseño explicados en el capítulo II.

* ANODO TIPO J

Masa:

$$m_a = 36.3 \text{ Kg.}$$

Descarga nominal:

$$i_n = 2.5 - 3.0 \text{ Amp}$$

De la ecuación 2.7 se obtiene el número de ánodos a usar:

$$n = 633 / 36.3 = 17.44$$

$$n = 18 \text{ } \sim 7.0 \text{ Amp}$$

De la ecuación 2.8 la descarga teórica del ánodo será: $8.6 = 14.40$

$$i = 74.71 / 18$$

$$i = 4.15 \text{ Amp del ánodo}$$

Finalmente se verifica la condición 2.9:

$$4.15 \leq (2.5 - 3.0) \quad ; \text{ No se cumple !}$$

Condición 2.9:

* ANODO TIPO TAJ ; Si se cumple !

Masa:

$$m_a = 35.4 \text{ Kg}$$

Descarga nominal:

$$i_n = 5.0 - 6.0 \text{ Amp}$$

Número de ánodos:

$$n = 633 / 35.4 = 17.88$$

$$n = 18 \text{ ánodos}$$

Descarga teórica del ánodo:

$$i = 74.71 / 18$$

$$i = 4.15 \text{ Amp del ánodo}$$

Condición 2.9:

$$4.15 \leq (5.0 - 6.0) \quad ; \text{ Si se cumple !}$$

Condición 2.9:

* ANODO TIPO TA4 ; Se cumple

Masa:

$$m_a = 38.6 \text{ Kg}$$

Descarga nominal:

$$i_n = 6.0 - 7.0 \text{ Amp}$$

Número de ánodos:

$$n = 633 / 38.6 = 16.40$$

$$n = 17 \text{ ánodos}$$

Descarga teórica del ánodo:

$$i = 74.71 / 17 = 4.39$$

$$i = 4.39 \text{ Amp}$$

Condición 2.9: $i \leq i_n$

$$4.39 \leq (6.0 - 7.0) \quad ; \text{ Sí se cumple !}$$

$$i = 4.39 \text{ Amp}$$

* ANODO TIPO E

Masa: $(6.0 - 8.0) \text{ Kg}$ Se cumple

$$m_a = 49.9 \text{ Kg} \quad \text{condicionalmente}$$

Descarga nominal:

$$i_n = 4.0 - 6.0 \text{ Amp}$$

Número de ánodos:

$$n = 633 / 49.9 = 12.69$$

$$n = 13 \text{ ánodos}$$

Descarga teórica del ánodo:

$$i = 74.71 / 13 = 5.75$$

$$i = 5.75 \text{ Amp}$$

Condición 2.9: $i \leq i_n$

$$5.75 \leq (4.0 - 6.0) \quad \text{Se cumple}$$

$$i = 5.75 \text{ Amp} \quad \text{condicionalmente}$$

* ANODO TIPO TAE

Masa:

$$m_a = 56.7 \text{ Kg}$$

Descarga nominal:

$$i_n = 6.0 - 8.0 \text{ Amp}$$

Número de ánodos:

$$n = 633 / 56.7 = 11.16$$

$$n = 12 \text{ ánodos}$$

Descarga teórica del ánodo:

$$i = 74.71 / 12$$

$$i = 6.23 \text{ Amp}$$

Condición 2.9:

$$6.23 \leq (6.0 - 8.0) \quad \text{Se cumple}$$

condicionalmente

* ANODO TIPO TA5

Masa:

$$m_a = 49.9 \text{ Kg}$$

Descarga nominal:

$$i_n = 6.0 - 8.5 \text{ Amp}$$

Número de ánodos:

$$n = 633 / 49.9 = 12.68$$

$$n = 13 \text{ ánodos}$$

Descarga teórica del ánodo:

$$i = 74.71 / 13$$

$$i = 5.75 \text{ Amp}$$

Condición 2.9:

$5.75 \leq (6.0 - 8.5)$; Sí se cumple !

* ANODO TIPO SM

Masa:

$m_a = 99.9 \text{ Kg}$

Descarga nominal:

$i_n = 5.0 - 8.0 \text{ Amp}$

Número de ánodos:

$n = 633 / 99.9 = 6.34$

$n = 7 \text{ ánodos}$

Descarga teórica del ánodo:

$i = 74.71 / 7$

$i = 10.67 \text{ Amp}$

Condición 2.9:

$10.67 \leq (5.0 - 8.0)$; No se cumple !

* ANODO TIPO TA5A

Masa:

$m_a = 79.4 \text{ Kg}$

Descarga nominal:

$i_n = 9.0 - 10.0 \text{ Amp}$

Número de ánodos:

$n = 633 / 79.4 = 7.97$

$n = 8 \text{ ánodos}$

Descarga teórica del ánodo:

$i = 74.71 / 8$

i = 9.34 Amp

TABLA VIII

Condición 2.9:

$9.34 \leq (9.0 - 10.0)$ Se cumple

condicionalmente

TIPO DE ÁNODO	NÚMERO DE	DESCRIPCIÓN (ANODOS)	CONDICIÓN	COSTO (UFM)	COSTO TOTAL
En la tabla VIII se efectúa una comparación técnica y económica de los ánodos inertes recomendados para el caso particular del dique Amazonas.					
PA3	19	6.0-6.0	4.15	530	6300
PA4	17	6.0-7.0	4.39	395	6715
E	13	6.0-6.0	5.75	540	6630
PA5	14	6.0-6.0	5.23	560	6720
PA6	13	6.0-6.0	5.75	510	6630
PA7	7	6.0-6.0	6.27	720	6720
PA8	8	6.0-6.0	6.74	620	6720

Costos al 17 de Noviembre de 1957

TABLA VIII

COMPARACION TECNICA Y ECONOMICA DE ANODOS INERTES
RECOMENDADOS A SELECCIONAR

TIPO DE ANODO	NUMERO DE ANODOS	DESCARGA (Amp)		CONDICION 2.9	COSTO (USD)	
		NOMINAL	TEORICA		UNIT.	TOTAL
J	18	2.5-3.0	4.15	No	370	---
TAJ	18	5.0-6.0	4.15	Si	350	6300
TA4	17	6.0-7.0	4.39	Si	395	6715
E	13	4.0-6.0	5.75	Cond.	510	6630
TAE	12	6.0-8.0	6.23	Cond.	560	6720
TA5	13	6.0-8.5	5.75	Si	510	6630
SM	7	5.0-8.0	10.67	No	780	---
TA5A	8	9.0-10	9.34	Cond.	620	4960

* Costos al 17 de Noviembre de 1989

Por el método de eliminación se procede a seleccionar el ánodo que cumpla con las mejores condiciones (tanto técnicas como económicas) para el caso en estudio, de tal forma se tiene:

* En primer lugar se descartan los ánodos que no cumplen con la condición 2.9, estos son los de tipo J y SM;

* Se eliminan los de tipo E y TAE por poseer un reducido número de ánodos, lo cual no permite efectuar una adecuada distribución de la corriente de protección, además la descarga teórica se encuentra dentro del rango nominal, lo que los hace poco confiables;

* El ánodo TA5A, a pesar de tener costo relativamente bajo no puede ser elegido por poseer las desventajas anotadas en el párrafo anterior;

* El de tipo TA5 tiene una descarga de corriente que cumple la condición 2.9, pero la cantidad de ánodos es pequeña;

* Finalmente entre los dos ánodos restantes se elimina el TA4 por poseer mayor costo y menor número de ánodos que el TA3.

$n = 122$ ánodos

Por lo tanto el ánodo seleccionado es el ánodo tipo TA3, el cual presenta las siguientes ventajas:

- Mejor distribución de corriente de protección.
- Cumplimiento de la condición 2.9
- Menor costo (a excepción del TA5A)

A continuación se hará un paréntesis para calcular la cantidad de ánodos galvánicos que se necesitan para proteger catódicamente el planchaje del dique. Esto es con la finalidad de realizar una comparación con los dos sistemas.

Escogiendo una vida útil de 5 años, utilizando la tabla II y la fórmula 2.6 se tiene:

$$M = 2.9 \times 74.71 \times 5 / 0.85$$

$$M = 1274.46 \text{ Kg}$$

Luego, de la ecuación 2.7

$$R_{ca} = 1274.46 / 10.45 = 121.96 \text{ } \Omega$$

en la

$$n = 122 \text{ ánodos}$$

instalación, mostrado en la figura No. 13, por lo que se ve claramente, que para la

3.2.3 Resistencia Total del Sistema Eléctrico

Se la calcula utilizando la ecuación 2.11, tomando en cuenta que la resistencia de la estructura R_c es despreciable. Partiendo de las características del ánodo seleccionado, se procede a calcular primeramente, la resistencia ánodo-electrolito de la siguiente manera:

$$R_{ca} = (25 \times 0.52 + 1.3/2 \times 14 + 24 \times 2.10) / 1900$$

$$R_{ca} = 1.015 \text{ } \Omega$$

ÁNODO TIPO TAJ

$l = 152.4 \text{ cm}$ longitud

$d = 12.1 \text{ cm}$ diámetro

$n = 18$ número de ánodos

$s = 2256 \text{ cm}$ separación entre ánodos

De la ecuación 2.12 se tiene que:

$$R_a = 0.006 \text{ } \Omega$$

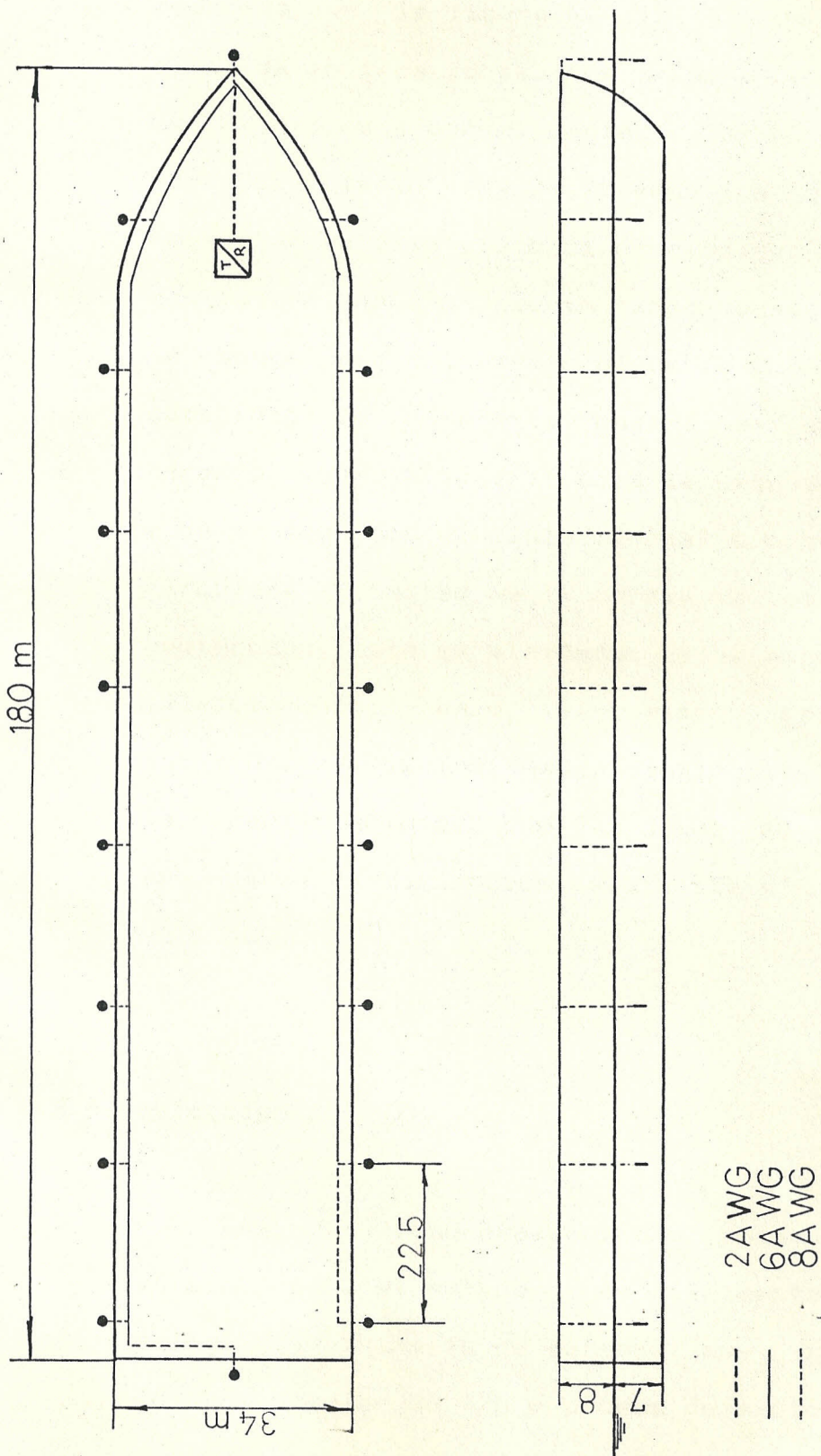


Fig N°15 Plano de instalación de los Anodos inertes en el dique Amazonas .

Cabe recalcar que la instalación eléctrica mostrada en la figura N^o 15 se encuentra dividida en tres zonas. La primera de estas, es la compuesta por el cable primario, por el cual circularán los 74.71 amperios que se necesitan para la protección catódica, por lo tanto, dejando un cierto rango de seguridad se escoge para este tramo el cable 2 AWG cuya capacidad de corriente máxima es de 115 amperios (Ver tabla IV); para la segunda zona constituida por el cable cabezal secundario, circulará la mitad de la corriente total de protección, esto es alrededor de 37 amperios, seleccionando, bajo el mismo criterio anterior, el cable 6 AWG; finalmente, para las ramificaciones que van desde el cable secundario a los ánodos se utiliza el cable N^o 8 AWG.

3.2.4 Selección del T/R

Por ser el dique Amazonas una unidad muy valiosa para el estado y especialmente por existir un tránsito de personal muy intenso se debe escoger un T/R a prueba de explosión,

es decir enfriado en aceite. Además debido a que en nuestro medio el voltaje es inestable se deberán usar rectificadores de selenio.

- INTENSIDAD DE CORRIENTE. De la ecuación 2.13 se tiene:

$$I_{T/R} = 1.25 \times 74.71$$

$$I_{T/R} = 93.39 \text{ Amp}$$

Analizando los valores de corriente disponibles en el apéndice A2 se determina la inmediata superior, quedando la corriente

$$I_{T/R} = 103 \text{ Amp}$$

- DIFERENCIA DE POTENCIAL. Usando la fórmula 2.14:

$$\Delta E_c = 103 \times 1.021$$

$$\Delta E_c = 105.16 \text{ V}$$

De la ecuación 2.15

$$\Delta E_{T/R} = 1.25 \times 105.16$$

$$\Delta E_{T/R} = 131.45$$

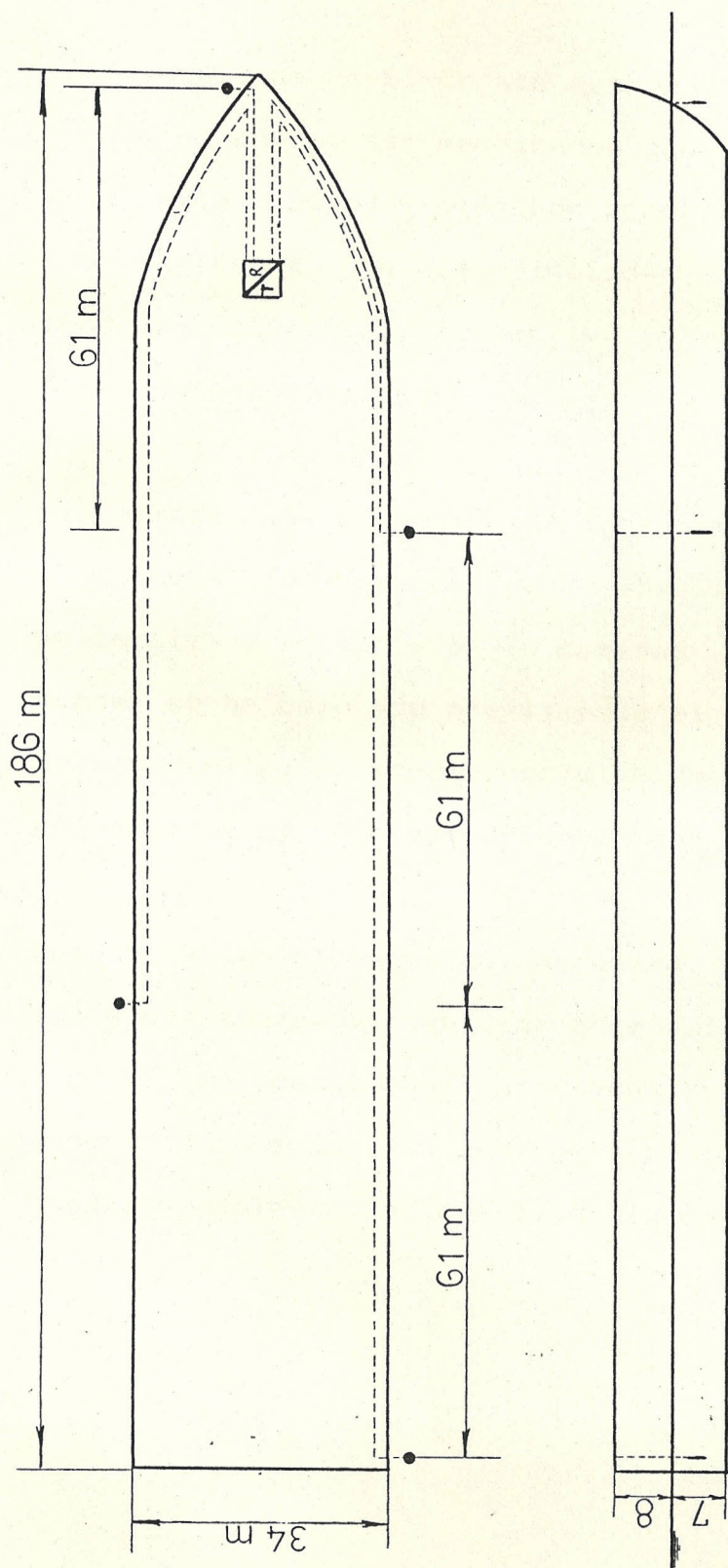


Fig N°16 Plano de instalación de los electrodos de referencia en el dique Amazonas.

- Conexión cable-ánodo.

Los ánodos de Fe-Si-Cr son estremadamente duros por lo que no pueden ser maquinados con facilidad. Por esta razón, estos vienen con un orificio en uno de sus extremos con la finalidad de realizar la conexión eléctrica respectiva, la cual debe ser hecha de una forma especial.

El método consiste en fundir una pastilla metálica conductora formada por una aleación de Teluro-Antimonio y vertirla en la cavidad del ánodo, en donde se ha colocado previamente el cable conductor de corriente; Posteriormente se debe rellenar con resina epóxica para asegurar su impermeabilización.

Cuando la atmósfera es muy agresiva, como en el caso del dique Amazonas, se debe encapsular la conexión con el propósito de lograr una mejor protección contra la humedad. En la figura N° 17 se muestra la conexión cable-ánodo impermeabilizada.

Fig. N° 17

Esquema de la conexión cable-ánodo.

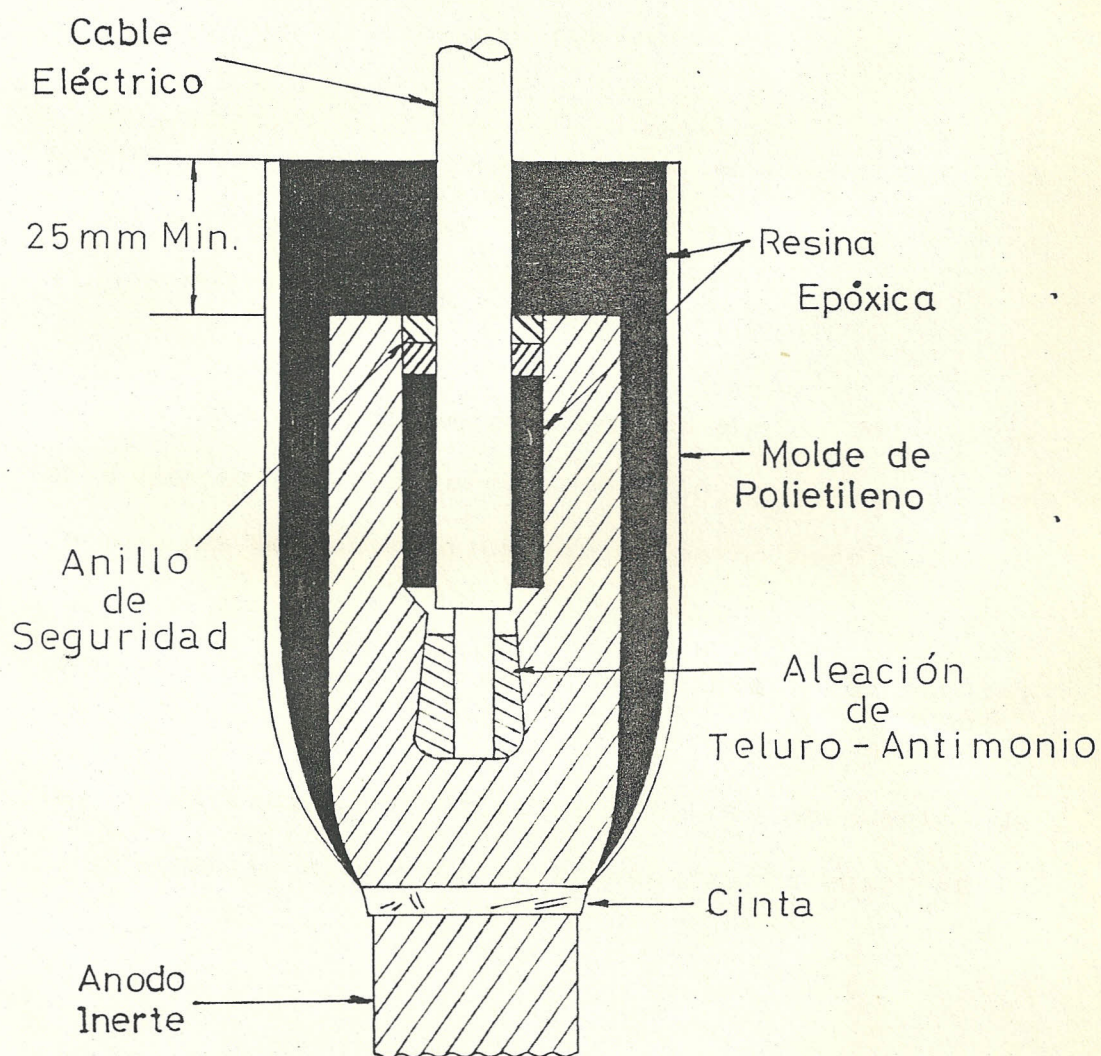
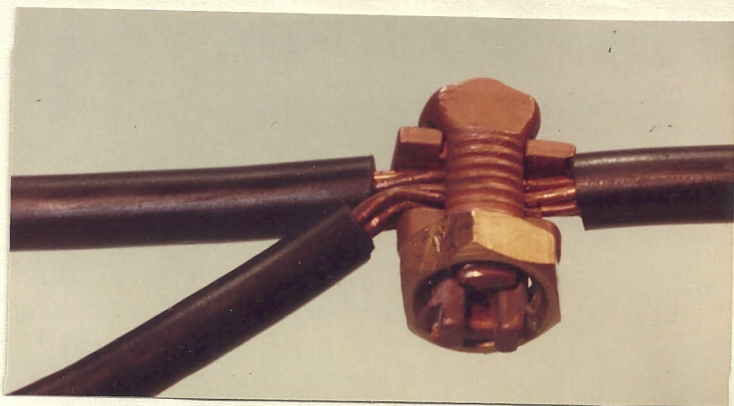


Fig. Nº 17

Esquema de la conexión cable-ánodo.



(a)



(b)



(c)

Fig. Nº 18 Secuencia a seguir para ejecutar un empalme eléctrico.

Para su colocación se deben mezclar los dos componentes de la resina epóxica e inmediatamente vertirlos por medio del embudo al molde previamente colocado en el empate eléctrico.

En el apéndice A4 se muestra un Splicing Kit comercialmente conocido en nuestro medio.

- Montaje de ánodos y electrodos.

La distancia recomendada entre el ánodo y el casco es de 50 a 100 cm. Para lograr esto el soporte colocado en la parte superior del casco debe ser de 30 cm de largo.

Con el propósito de que el cable eléctrico conductor de la corriente de protección no quede tensionado por el peso del ánodo, este debe ser suspendido por una cuerda de nylon sujeta al soporte por intermedio de un aislador de porcelana el cual se muestra en la figura N° 19. El otro lado de la cuerda debe ser atado al ánodo aprovechando la expansión del extremo en donde se realiza la conexión cable-ánodo, ver figura N° 20.

Los demás detalles de instalación se aprecian en el plano de la figura N° 21.



Fig. Nº 19 Aislador de porcelana.



Fig. Nº 20 Sujección del ánodo.

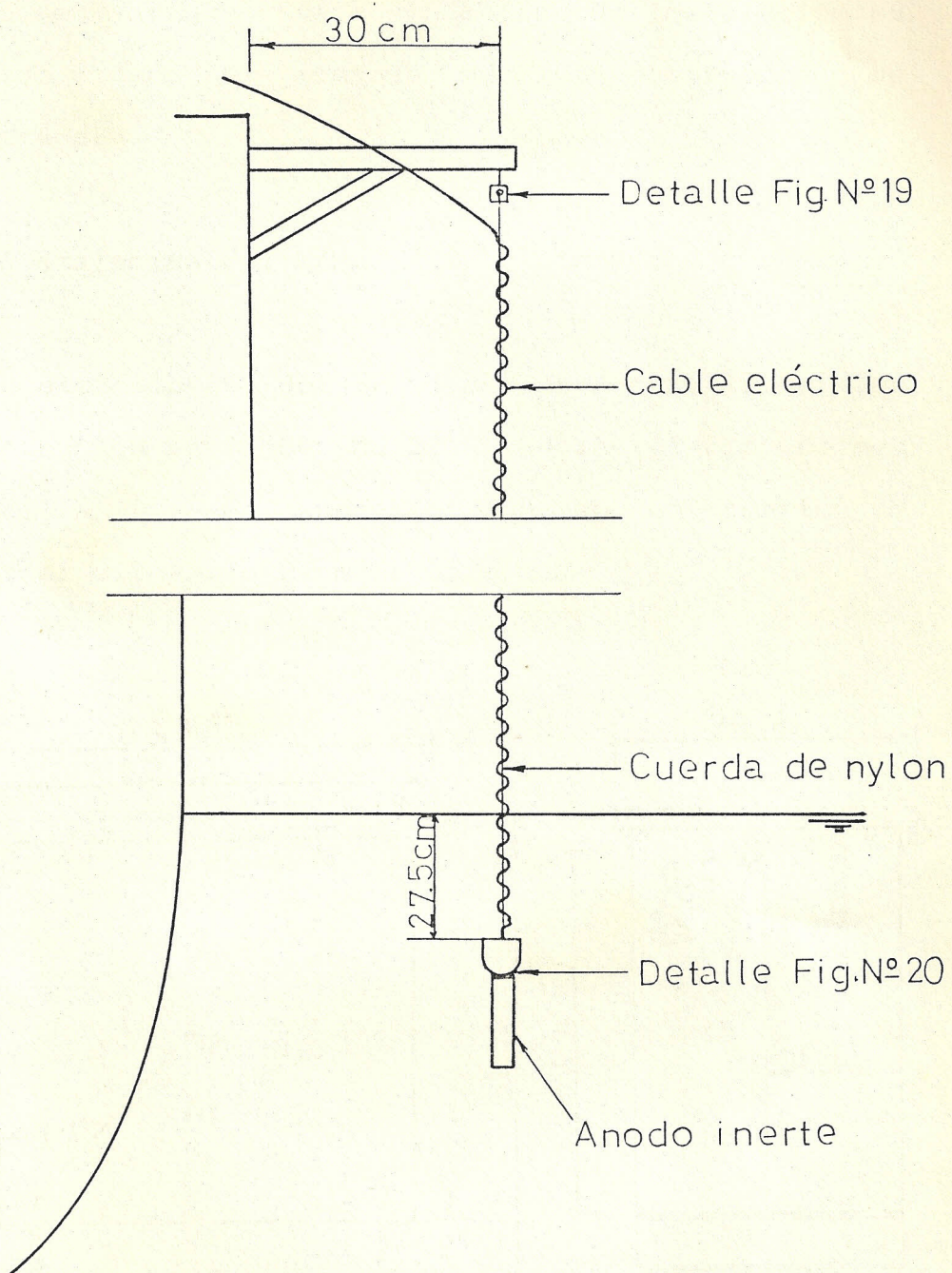


Fig. Nº 21

Esquema del montaje de los ánodos.

Cabe señalar que este mismo método de instalación es válido para el montaje de los electrodos de referencia.

- Instalación del T/R.

Las dimensiones del Transformador/Rectificador se muestran en la figura Nº 22. Su instalación es muy sencilla y podrá ser instalado en el cuarto de control situado a 25 m de la proa.

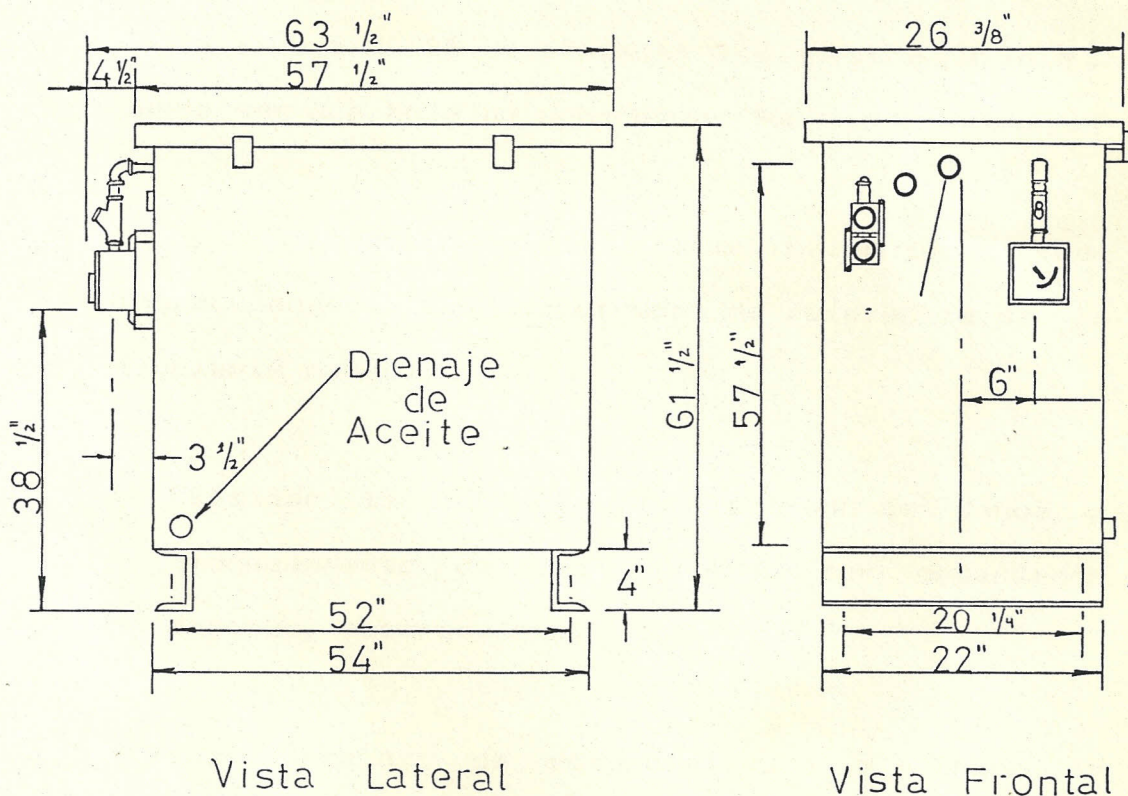


Fig. Nº 22 Dimensiones del T/R

3.4 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

En general el mantenimiento de un sistema de protección catódica por corrientes impresas consiste en verificar que el equipo opere en óptimas condiciones y así se tiene:

a) Es necesario anotar mensualmente las lecturas de potencial de los electrodos y corriente de los ánodos en una hoja de control. Esto permitirá dar una guía del funcionamiento del sistema.

En la figura Nº 23 se presenta una muestra de lo que puede ser una hoja de control de funcionamiento.

b) Se requiere que semestralmente, sean inspeccionados los electrodos de referencia de la siguiente manera:

- Examinar la cubierta del electrodo de daños o bloqueamiento de los agujeros por organismos marinos, basuras, etc.

- Tomar medidas de potencial con electrodo de referencia portátil en diferentes puntos del casco, con el propósito de controlar el

FECHA	ELECTRODO Nº	POTENCIAL		DIFERENCIA ENTRE POTENCIALES	OBSERVACIONES
		FIJO	PORTATIL		

(a) Potencial de protección.

Fecha	Anodo Nº	1	2	3		17	18	OBSERVACIONES

(b) Drenaje de corriente

Fig. Nº 23 Hojas de control de funcionamiento del sistema catódico para el dique Amazonas.

funcionamiento del electrodo fijo. La diferencia entre las lecturas no debería ser superior a los 50 mV.

Si la diferencia de lectura es de 100 mV o más, se deduce que el electrodo de referencia está inutilizable y por lo tanto debe ser sustituido.

c) También es preciso que semestralmente se inspeccionen los ánodos sugiriendo lo siguiente:

- Limpiar la superficie del ánodo de la acumulación de organismos marinos o cualquier otro cuerpo extraño.

- Verificar que el cable de conexión al ánodo no se encuentre tensionado.

- Comprobar mediante un voltímetro que el ánodo no se encuentre cortocircuitado al casco.

d) Considerar las recomendaciones de mantenimiento del T/R entregadas por el fabricante.

3.5 ANALISIS DE COSTOS

La instalación del sistema de protección por corrientes impresas para el dique Amazonas genera gastos económicos que, por motivo de cálculos se lo puede dividir en dos fases. La primera de ellas es la instalación propiamente dicha del equipo, en la cual están considerados los materiales directos e indirectos, montaje, mano de obra, etc.; y la otra son los costos producidos por el mantenimiento y funcionamiento del equipo.

- Costos de Instalación.

DIRECCION TECNICA	USD	1,500
-------------------	-----	-------

MATERIALES DIRECTOS

Un Transformador/Rectificador trifásico de 220 VAC de entrada y 103 ADC/144 VDC de salida con rectificadores de selenio, enfriados en aceite, código MXSWT DX7 1105 según anexo A2

"	3,400
---	-------

18 ánodos de hierro-silicio del tipo TAJ (incluido

TOTAL	USD	14,100
-------	-----	--------

material para conexión cable-

ánodo) USD 6,300

4 electrodos de referencia de

Plata/Cloruro de Plata " 720

Cables eléctricos del tipo

HMWPE-PC " 1,048

MATERIALES INDIRECTOS

Entre los cuales se encuentran los aisladores de porcelana, splicing kit, cabo de nylon, perfil L para estructura, pernos hendidos para cable 6AWG, varillas de hierro, soldadura, etc.

" 559

MANO DE OBRA

La instalación y montaje del sistema puede ser realizado por el mismo personal que labora en ASTINAVE, por lo tanto no se contabilizará este rubro.

IMPREVISTOS " 631

TOTAL USD 14,158

- Costos de Operación.

CONSUMO ELECTRICO

Se estima que el T/R consume

USD 448 por año, lo que en 5

años da USD 2,240

MANTENIMIENTO

Se considera que los gastos

de mantenimiento de un

sistema por corrientes

impresas son del 2.3% del

costo de instalación en 5

años " 305

TOTAL USD 2,545

Analizando estos dos totales se puede apreciar que los costos de operación equivalen al 18% de los gastos de instalación en 5 años.

Por otro lado, del capítulo I se tiene que el costo de instalación del sistema de protección actual del dique fue de USD 17,050 en el año de 1982, por lo tanto estimando un aumento de precio por inflación del 20% se tiene que este valor actualizado será de USD 20,460.

Para efectuar un mejor análisis de los costos de ambos sistemas se forma el gráfico de la figura Nº 24, el cual muestra claramente el beneficio económico que produciría aplicar el método por corrientes impresas al dique Amazonas.

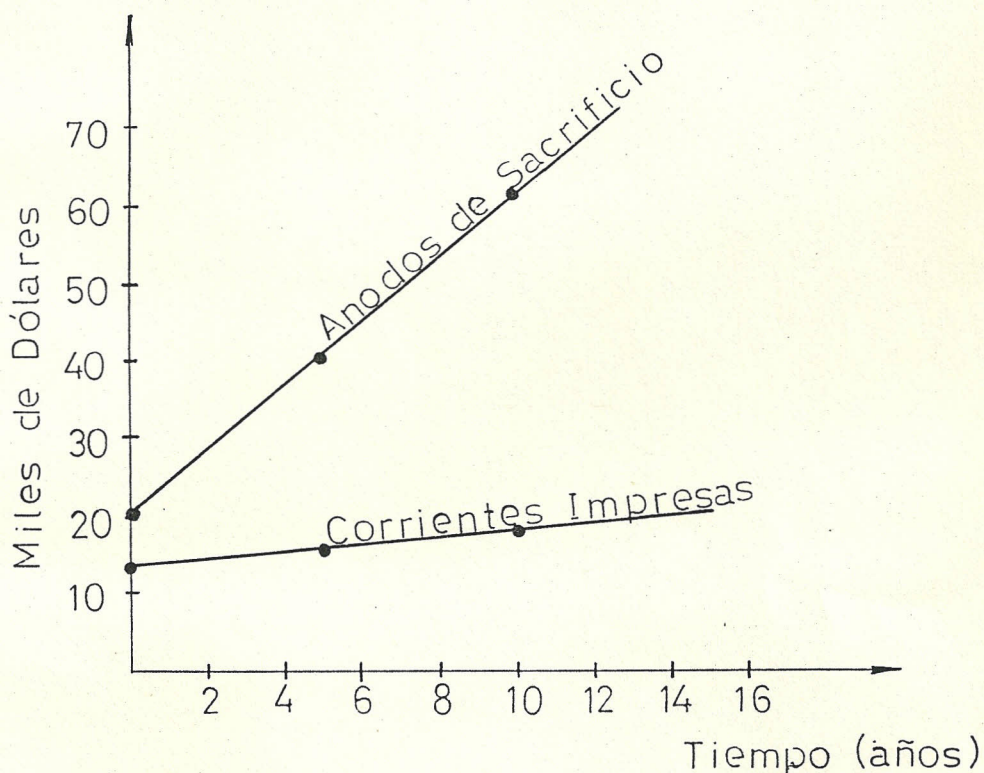


Fig. Nº 24 Costos comparativos entre los sistemas impreso y galvánico del dique Amazonas.

Cabe recalcar que esta diferencia de costos sería mayor si se consideraran los gastos secundarios, esto es que con la protección actual el dique debe ser carenado cada 5 años, en cambio con el sistema

de corrientes impresas este periodo puede ser
ampliado sin ningún riesgo a 8 años, generando por
consiguiente un ahorro de divisas para el país.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Al culminar las investigaciones, mediciones, cálculos y análisis realizados durante el desarrollo de esta tesis, se llega a las conclusiones siguientes:

- Los valores elevados del potencial estructura electrolito del Dique mostrados en la Tabla VII evidencian una clara sobre protección del mismo, puesto que estas lecturas fueron tomadas luego de cinco años de funcionamiento del sistema.

Por otro lado, en el capítulo III, se realizó el cálculo del número necesario de ánodos galvánicos capaces de proteger la obra viva durante el mismo lapso de tiempo, computándose un valor mucho menor al instalado, lo cual reafirma el sobredimensionamiento del sistema que se utiliza en la actualidad.

- Al modificar el sistema de protección el Dique deberá ser carenado cada ocho años y no cada cinco años como se lo viene efectuando. Es decir, por cada tres carenamientos actuales se ahorrará uno con el nuevo método, por lo tanto se logrará una disminución considerable de los costos de mantenimiento del Dique, ya que estos por tratarse de trabajos realizados en el exterior, se contabilizan en Dólares.
- Del análisis de costo realizado se desprende que tanto los gastos de instalación como los de operación del equipo de corrientes impresas para el dique, son menores a los del sistema galvánico, produciendo un beneficio económico considerable a largo plazo, tal como lo muestra el gráfico de la figura Nº 24.

Entre las recomendaciones sugeridas se puede anotar las siguientes:

- En consecuencia del sobredimensionamiento existente, se recomienda que en caso de no decidir implantar este sistema, disminuir la cantidad de ánodos de zinc para evitar la sobreprotección y el gasto económico innecesario.
- La composición química del zinc electrolítico

HOJA DE DATOS DE ANODOS HIERRO-SILICIO

ANODE TYPE	NOMINAL SIZE In (mm)	LENGTH In (mm)	WEIGHT lbs (kg)	AREA- SQ. FEET (m ²)	NOMINAL DISCHARGE- AMPS	GENERAL APPLICATIONS	SPECIAL FEATURES
B	1 x 60 (25 x 1524)	60 (1524)	12 (5.4)	1.4 (.13)	0.5	Fresh water tanks.	Each end enlarged to 1 1/2 in. (38mm) dia. with cored opening for joining.
TAB	2 1/4 x 24 (56 x 609)	24 (609)	13 (5.9)	1.1 (.10)	0.5-1.0	Fresh water tanks, distributed systems in ground trenches.	Lightweight flexible assembly with continuous cable.
TABB	2 1/4 x 24 (56 x 609)	24 (609)	18 (8.2)	1.4 (.13)	0.5-1.0	Fresh water tanks, distributed systems in ground trenches.	Lightweight flexible assembly with continuous cable.
CD	1 1/2 x 60 (38 x 1524)	60 (1524)	25 (11.4)	2.0 (.19)	1.0	Ground bed with backfill.	One end only enlarged to 2 in. (51mm) dia. with cored opening for cable connection.
TACD	2 1/4 x 60 (56 x 1524)	60 (1524)	32 (14.5)	2.8 (.26)	2.5-3.0	Fresh water tanks, deep ground beds, or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
TA2A	2 1/4 x 42 (56 x 1067)	42 (1067)	23 (10.4)	2.0 (.19)	1.5-2.0	Fresh water tanks, deep ground beds, or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
TA1	2 1/4 x 42 (56 x 1067)	42 (1067)	31 (14.1)	2.4 (.22)	1.5-2.0	Fresh water tanks, deep ground beds, or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
TAJA	4 1/4 x 24 (121 x 609)	24 (609)	31 (14.1)	2.5 (.23)	1.5-2.0	Fresh water tanks, deep ground beds, or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
D	2 x 60 (51 x 1524)	60 (1524)	44 (20.0)	2.6 (.24)	1.5	Ground bed without backfill.	Uniform 2 in. (51mm) dia. with cable connection on one end only.
TAD	2 1/4 x 60 (56 x 1524)	60 (1524)	45 (20.4)	3.5 (.32)	2.5-3.5	Fresh water tanks, deep ground beds, or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
TA2	2 1/4 x 84 (56 x 2133)	84 (2133)	46 (20.9)	4.0 (.37)	3.0-4.0	Fresh water tanks, deep ground beds, or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
M	2 x 60 (51 x 1524)	60 (1524)	60 (27.2)	2.8 (.26)	2.0-2.5	Mild saline or deep well without backfill.	Each end enlarged to 3 in. (76mm) dia. with cored opening for joining.
TAM	3 1/4 x 60 (95 x 1524)	60 (1524)	60 (27.2)	4.9 (.46)	3.5-5.0	Deep ground beds or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
TA3	2 1/4 x 84 (56 x 2133)	84 (2133)	63 (28.6)	4.9 (.46)	3.5-5.0	Deep ground beds or standard ground beds.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
J	3 x 36 (76 x 914)	36 (914)	80 (36.3)	2.5 (.23)	2.5-3.0	Severe ground without backfill or sea water.	One end only enlarged to 5 in. (127mm) dia. with cored opening for cable connection.
TAJ	4 1/4 x 60 (121 x 1524)	60 (1524)	78 (35.4)	6.2 (.58)	5.0-6.0	Severe ground, deep well without backfill or sea water.	Center connection and tubular design gives greater surface area.
TA4	3 1/4 x 84 (95 x 2133)	84 (2133)	85 (38.6)	6.9 (.64)	6.0-7.0	Severe ground, deep well without backfill or sea water.	Center connection and tubular design gives greater surface area.
E	3 x 60 (76 x 1524)	60 (1524)	110 (49.9)	4 (.37)	4-6	Severe ground, deep well without backfill or sea water.	One end only enlarged to 4 in. (102mm) dia. with cored opening for cable connection.
TAE	4 1/4 x 60 (121 x 1524)	60 (1524)	125 (56.7)	6.2 (.58)	6-8	Severe ground, deep well without backfill or sea water.	Center connection eliminates loss due to "end effect."
TA5	4 1/4 x 84 (121 x 2133)	84 (2133)	110 (49.9)	8.7 (.81)	6-8.5	Severe ground, deep well without backfill or sea water.	Center connection eliminates loss due to "end effect."
SM	4 1/4 x 60 (114 x 1524)	60 (1524)	220 (99.9)	5.5 (.51)	5-8	Sea water with high current discharge per anode or severe ground bed.	Uniform 4 1/2 in. (114mm) dia. with cored opening each end. Permits two cable connections, if required.
TA5A	4 1/4 x 84 (121 x 2133)	84 (2133)	175 (79.4)	8.7 (.81)	9-10	Sea water with high current discharge per anode or severe ground bed.	Center connection and tubular design gives longer life.
FW	1 1/2 x 9 (29 x 229)	9 (229)	1 (.4)	0.22 (.02)	0.025	Elevated fresh water tank.	Lightweight flexible assembly with continuous cable.
TAFW	2 1/4 x 8 (56 x 203)	8 (203)	4.3 (1.9)	0.38 (.04)	0.40	Elevated fresh water tank.	Lightweight flexible assembly with continuous cable.
G2	2 x 9 (51 x 229)	9 (229)	5 (2.3)	0.40 (.04)	0.10	Elevated fresh water tank. Underground cables in ducts.	Inside configuration permits single center cable to anode connection or continuous cable.
TAG	2 1/4 x 8 (56 x 203)	8 (203)	6 (2.7)	0.47 (.05)	0.55	Elevated fresh water tank. Underground cables in ducts.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.
TAFWA	2 1/4 x 12 (56 x 304)	12 (304)	6.5 (2.9)	0.57 (.06)	0.60	Elevated fresh water tank. Underground cables in ducts.	Center connection, in series on continuous cable or one lead only.

A2

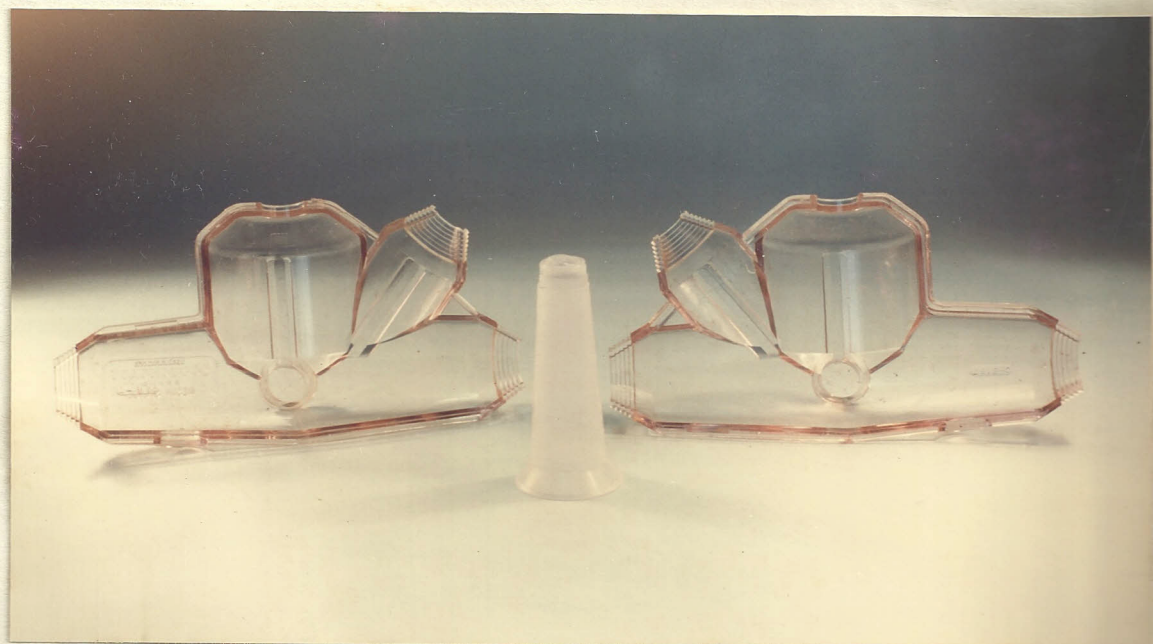
HOJA DE DATOS PARA T/R A PRUEBA DE EXPLOSION

MAXIMUM D.C. VOLTS												
12	18	24	30	36	48	60	72	84	96	108	120	144
OX2 285	OX2 290		OX2 300	OX2 305	OX2 310	OX2 315	OX2 320	OX2 325	OX2 330	OX2 335	OX2 340	OX2 350
OX2 290	OX2 295	OX2 300	OX2 305	OX2 310	OX2 315	OX2 320	OX2 325	OX2 330	OX2 335	OX2 345	OX2 350	OX2 360
OX2 295	OX2 300	OX2 305	OX2 310	OX2 315	OX2 320	OX2 325	OX2 330	OX2 335	OX2 345	OX2 355	OX2 360	OX2 375
OX2 300	OX2 305	OX2 310	OX2 315	OX2 320	OX2 325	OX2 330	OX2 335	OX2 345	OX2 355	OX2 370	OX2 380	OX2 390
OX2 305	OX2 310	OX2 315	OX2 320	OX2 325	OX2 335	OX2 340	OX2 345	OX2 355	OX2 365	OX2 380	OX3 425	OX3 440
OX2 310	OX2 315	OX2 320	OX2 325	OX2 330	OX2 340	OX2 345	OX2 360	OX3 410	OX3 425	OX3 435	OX3 445	OX3 465
OX2 315	OX2 320	OX2 325	OX2 330	OX2 340	OX2 350	OX2 355	OX2 375	OX3 425	OX3 440	OX3 450	OX4 570	OX4 595
OX2 320	OX2 325	OX2 330	OX2 340	OX2 350	OX2 360	OX2 375	OX2 395	OX3 440	OX3 450	OX3 465	OX4 595	OX5 615
OX2 325	OX2 330	OX2 340	OX2 350	OX2 360	OX3 415	OX3 430	OX3 455	OX3 460	OX3 470	OX3 480	OX4 635	OX4 650
OX2 330	OX2 335	OX2 350	OX2 360	OX2 370	OX3 430	OX3 440	OX3 465	OX4 595	OX4 605	OX4 620	OX5 810	OX5 825
OX2 335	OX2 345	OX2 365	OX2 375	OX2 390	OX3 445	OX3 460	OX3 475	OX4 615	OX4 625	OX4 640	OX5 835	OX5 860
OX3 380	OX3 400	OX3 420	OX3 430	OX4 440	OX4 570	OX4 585	OX4 610	OX5 770	OX5 780	OX5 815	OX6 970	OX6 995
OX3 390	OX3 410	OX3 430	OX3 440	OX3 450	OX4 580	OX4 595	OX4 625	OX5 785	OX5 810	OX5 855	OX7 1079	OX7 1105
OX3 405	OX3 420	OX3 440	OX3 450	OX3 460	OX4 590	OX4 610	OX4 635	OX6 930	OX6 960	OX6 1000	OX7 1095	OX7 1165
OX3 430	OX3 445	OX3 470	OX3 485	OX3 495	OX5 790	OX5 810	OX5 840	OX7 1075	OX7 1095	OX7 1135	OX8 1225	OX8 1260
OX4 575	OX4 595	OX4 620	OX4 630	OX4 640	OX6 950	OX6 960	OX6 1005	OX8 1180	OX8 1215	OX8 1250		
OX4 595	OX4 625	OX4 635	OX4 645	OX4 660	OX7 1050	OX7 1075	OX7 1110					
OX4 615	OX4 645	OX4 660	OX4 670	OX4 685								
OX5 785	OX5 810	OX5 830	OX5 845	OX5 860								
OX5 805	OX5 830	OX5 850	OX5 865	OX5 880								
OX5 830	OX5 845	OX5 875	OX5 890	OX5 905								
OX6 955	OX6 980	OX6 1005	OX6 1020	OX6 1035								
OX6 980	OX6 1015	OX6 1035	OX6 1050	OX6 1060								

117

A4

SPLICING KIT COMERCIALMENTE CONOCIDO EN NUESTRO MEDIO



BIBLIOGRAFIA

- 1) V. Gentil, "PROTECAO CATODICA EM ESTRUTURAS METALICAS ENTERRRADAS E SUBMERSAS" (Brasil, 1975)
- 2) The Duriron Company, Inc., "DESIGNING IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION SYSTEMS WITH DURCO ANODES" (EE.UU., 1966)
- 3) ASMAR, "PROTECCION CATODICA EN MISILERAS" (Chile, 1978)
- 4) A. Peabody, "CONTROL OF PIPE LINE CORROSION" (EE.UU., 1974)
- 5) Astilleros Balboa SA, "COTIZACION DE REPARACIONES NAVALES" (Panamá, 1982)
- 6) L. Birnbaum, B. Taylor, W. Strausburg, "PROTECCION CATODICA" (EE.UU., 1972)
- 7) HARCO, Corp., "CATHODIC PROTECTION" (EE.UU., 1975)

) MATCOR, Inc., "CATODIC PROTECTION WORLDWIDE"
(EE.UU., 1984)

) A. VITERI, "CORROSION Y PREVENCIÓN DE LA
CORROSION" (Colección ESPOL)