

2ej
14



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLAN"

DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA PARA EL
GASODUCTO DE LA PLATAFORMA DE COMPRESION
POL-79 A NUEVO PROGRESO ATASTA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

JOSE FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ
JOSE LUIS OLIVA BOVER

MEXICO, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

			PAG
CAPITULO	I	INTRODUCCION	1
CAPITULO	II	GENERALIDADES	3
		2.1.1 ¿Que es la Corrosión?.....	3
		2.1.2 Tipos de Celdas de Corrosión de Tuberías	10
CAPITULO	III	PROTECCION CATODICA	13
		3.1.1 Protección Galvánica	14
		3.1.2 Protección por Rectificadores ..	29
CAPITULO	IV	CRITERIOS PARA LA PROTECCION CATODICA ..	43
CAPITULO	V	INSTRUMENTOS DE MEDICION E INSPECCION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA	47
CAPITULO	VI	RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS	57
CAPITULO	VII	PREPARACION DE LA SUPERFICIE DEL GASODUC TO PARA LA APLICACION DEL RECUBRIMIENTO.	94
		Limpieza Manual	96
		Limpieza Química	98
		Limpieza con Chorro de Arena ...	99
CAPITULO	VIII	MANTENIMIENTO E INSPECCION DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA.....	107
		Inspección Geofísica	108
		Inspección Visual Detallada	109
		Inspección con Pruebas no Des--- tructivas.....	111

		PAG
CAPITULO	IX	DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATÓDICA
		120
		Requisitos Específicos del Proyecto. Cálculo para el Diseño de Protección Catódica ...
		Instalación y Prueba
		126
CAPITULO	X	ASPECTOS ECONOMICOS
		150
CAPITULO	XI	CONCLUSIONES
		157
		BIBLIOGRAFIA
		158

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

Es un hecho común que durante la operación de plantas industriales así como en estructuras, se observa una gradual deterioración de los equipos, tanques, líneas de conducción, etc. Normalmente estos efectos se atribuyen al fenómeno de corrosión, efecto que no ha dejado de ser una preocupación del hombre, por lo que se ha visto obligado a desarrollar tecnologías específicas para su control, y de esta manera disminuir las pérdidas económicas que engloban las interrupciones del proceso productivo.

Esto es, si se deja desarrollar libremente la corrosión en una estructura determinada, dará lugar a una operación tan costosa que en algunos casos, la reposición de la misma estructura será más conveniente que su reparación.

Uno de los métodos que se ha llegado a desarrollar de manera eficiente desde mediados del siglo pasado, es el de la protección catódica que cumple satisfactoriamente su función, la que ha adquirido una gran importancia industrial en un período de tiempo relativamente corto al actual, (Cap. III).

En un país, como es el nuestro de crecimiento industrial, tan marcado y diversificado, requiere contar con la infraestructura necesaria que permita llevar los servicios de agua, gas e hidrocarburos entre otros, a los centros urbanos e industriales del país, con la mayor rapidez, seguridad y eficiencia posible.

Esto origina a su vez la necesidad de instalar tuberías para el suministro de tales servicios, ya que por las distancias y volúmenes tan grandes no resulta apropiado el transporte por medio de carros tanques.

Para el caso de instalaciones de tuberías subterráneas o sumergidas se recomienda aplicar una protección externa anticorrosiva, ya sea por recubrimientos con material anticorrosivo (Cap. VI), por protección catódica (Cap. III) ó combinación de ambos, de manera que permita un control efectivo del fenómeno de corrosión, que es el objetivo final de este trabajo de tesis, a través de los conceptos de la protección catódica para el diseño (dimensionamiento) de la protección externa que deberá aplicarse al gasoducto de .9144 mt. (36 Pulg.) de diámetro que se localizará en el lecho marino de la Bahía de -- Campeche para 20 años de servicio.

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1.1 ¿QUE ES LA CORROSION?

Con frecuencia la corrosión se confunde con un simple proceso de oxidación -- siendo en realidad un proceso más complejo el que puede puntualizarse como la gradual destrucción de los materiales debido a un proceso electroquímico o de erosión que obedece a la interacción del material con el medio ambiente que lo rodea.

Para que exista el mecanismo de corrosión, se requiere que cumpla las siguientes condiciones:

- Debe existir un ánodo y un cátodo.
- Debe existir una diferencia de potencial entre el ánodo y cátodo.
- Debe existir una conexión metálica entre el ánodo y cátodo.
- El ánodo y cátodo deben estar en contacto con un electrolito.

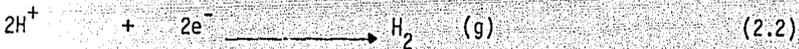
Las reacciones que generalmente se llevan a cabo en las áreas anódicas y catódicas: del fierro y del acero son:

Reacción Anódica.



Durante el proceso de corrosión de los metales ocurren varias reacciones catódicas que a continuación se mencionan:

Evolución de hidrógeno:



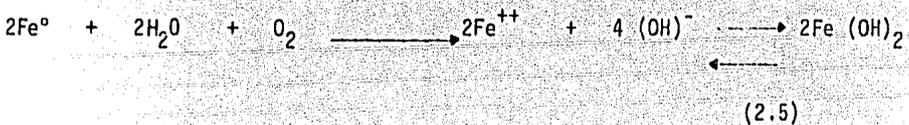
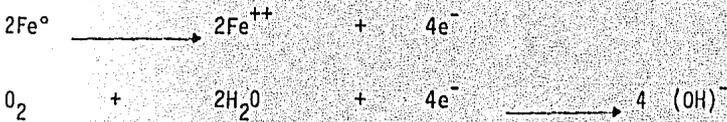
Reducción de oxígeno (en soluciones ácidas).



Reducción de los iones metálicos



La Reacción total:



Con un exceso de oxígeno en el medio se tiene:

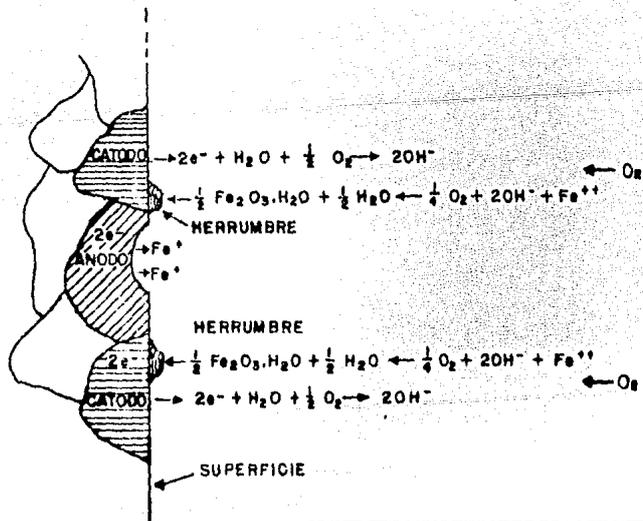
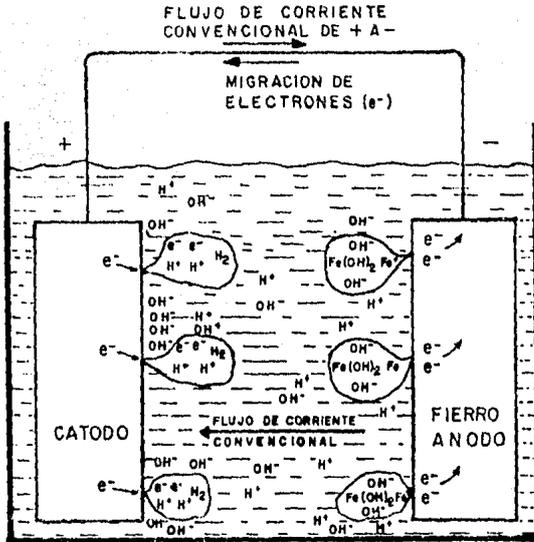


Una vez que estas condiciones existan, fluirá la corriente eléctrica y los metales serán consumidos en el ánodo, de acuerdo a los mecanismos de reacción anteriores.

Con referencia a la figura 2.1 la presión ejercida por la diferencia del potencial entre el ánodo y cátodo, resulta la migración de electrones del ánodo al cátodo a través de la conexión metálica entre los mismos.

En el ánodo con la pérdida de electrones los átomos de hierro quedan cargados positivamente y permanecen en la interfase para combinarse con los iones oxhidrilo $(\text{OH})^-$, cargados negativamente en el medio ambiente, para formar el hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$, el que puede reaccionar posteriormente para formar el hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, el que es conocido comunmente como moho.

En el cátodo, el excedente de electrones que llegan del ánodo cargados negativamente, se combinan con los iones hidrógeno (H^+) cargados positivamente para formar la molécula de hidrógeno (H_2) en la interfase metal-electrolito, y si no existe ningún mecanismo que lo remueva (agitación, O_2) formará la película de polarización en el metal, o si existe el mecanismo dará un incremento de la alcalinidad del electrolito en la vecindad del cátodo por la presencia de los iones (OH^-)



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN
MECANISMO SIMPLIFICADO DE LA CORROSION DEL ACERO.	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG. No. 21

Para el uso práctico se considera el flujo de corriente de más (+) a menos (-) por el circuito metálico y el flujo de corriente en el electrolito será del ánodo al cátodo como se observa en la figura (2.1)

2.1.2 TIPOS DE CELDA DE CORROSION EN TUBERIAS

Existe un gran número de condiciones que favorecen la formación de áreas anódicas y catódicas sobre la tubería, sea por inadecuadas consideraciones de diseño, construcción, manejo, almacenamiento y por las condiciones prevalecientes en las zonas por donde cruzará la tubería.

CELDAS DE CORROSION POR METALES DIFERENTES.

Este tipo de celdas se forman cuando se unen eléctricamente dos metales diferentes, localizados en un electrolito donde se genera una diferencia de potencial eléctrico entre ambos, la magnitud del potencial dependerá de la posición de los metales en la serie galvánica y de la naturaleza del electrolito.

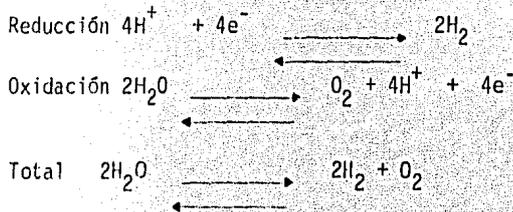
En una celda de corrosión, el flujo de corriente será gobernado por una resistencia efectiva de la celda, por lo que se debe tomar en consideración la resistencia ohmica de los materiales del circuito, y de la solución y el efecto de la película polarizada de hidrógeno sobre el cátodo.

La resistencia ohmica incluye la del circuito metálico entre el ánodo y cátodo, la del electrolito y la de los revestimientos ó películas de los productos de la corrosión en las superficies metálicas.

En el caso de tuberías, la resistencia del circuito metálico generalmente es muy baja porque la distancia entre el ánodo y cátodo es relativamente corta.

La película de polarización es un factor muy importante en el control de la cantidad de flujo de corriente, puesto que puede actuar como una capa aislante la que introduce una resistencia ohmica adicional en el circuito y reduce el flujo de corriente corrosiva. Se establece que existe una caída de voltaje a través de la película y que este potencial de polarización es opuesto a la celda de corrosión, que causa la corriente.

La película de polarización es removida de manera permanente por la existencia del oxígeno disuelto en el electrolito que se combina con el hidrógeno para removerlo.



En la serie electromotriz los metales con valores de potencial más electronegativos son más activos por lo que actuarán como ánodos en comparación con los metales de valores más electropositivos, que actuarán como cátodos, como se observa en la tabla 2.1.

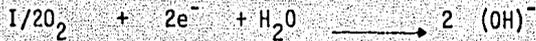
TABLA 2.1

SERIE GALVANICA

METAL	POTENCIAL (VOLTIOS)	
Oro	1.42	
Platino	1.20	NOBLES
Paladio	0.83	
Plata	0.799	
Mercurio	0.798	
Cobre	0.34	
Estaño	0.154	
Hidrógeno	0.000	ELECTRODO DE REFERENCIA. (25°C, 1 ATM)
Plomo	-0.126	
Niquel	-0.230	
Cobalto	-0.270	
Cadmio	-0.402	
Hierro	-0.440	
Cromo	-0.710	
Zinc	-0.762	
Aluminio	-1.660	
Magnesio	-2.380	
Sodio	-2.710	ACTIVOS
Potasio	-2.920	

CELDA DE AERACION DIFERENCIAL

El papel del oxígeno es el de facilitar que ocurra la reacción



Esta reacción propicia el hecho de que el oxígeno no solo puede mantener la reacción catódica, sino que puede además promoverla. Esto sucede donde existe una diferencia de concentración de oxígeno disuelto en el electrolito donde se localiza la tubería.

Debido a que la dirección de la reacción es hacia el equilibrio la única forma que se puede lograr es mediante la reducción de la concentración del oxígeno.

La superficie en contacto con el medio de mayor concentración de oxígeno será el área catódica, con respecto a la superficie en contacto con el medio de menor concentración de oxígeno será el área anódica misma que sufrirá una severa corrosión.

CELDA FORMADA POR TUBERÍA CON DIFERENTE ANTIGUEDAD DE CONSTRUCCION

Una condición muy estrechamente relacionada con la corrosión es cuando una tubería nueva es interconectada con otra de mayor antigüedad, esto a menudo es llevado a la práctica en la distribución de sistemas de tuberías, cuando es necesario reparar una sección de tubería en un sistema en servicio.

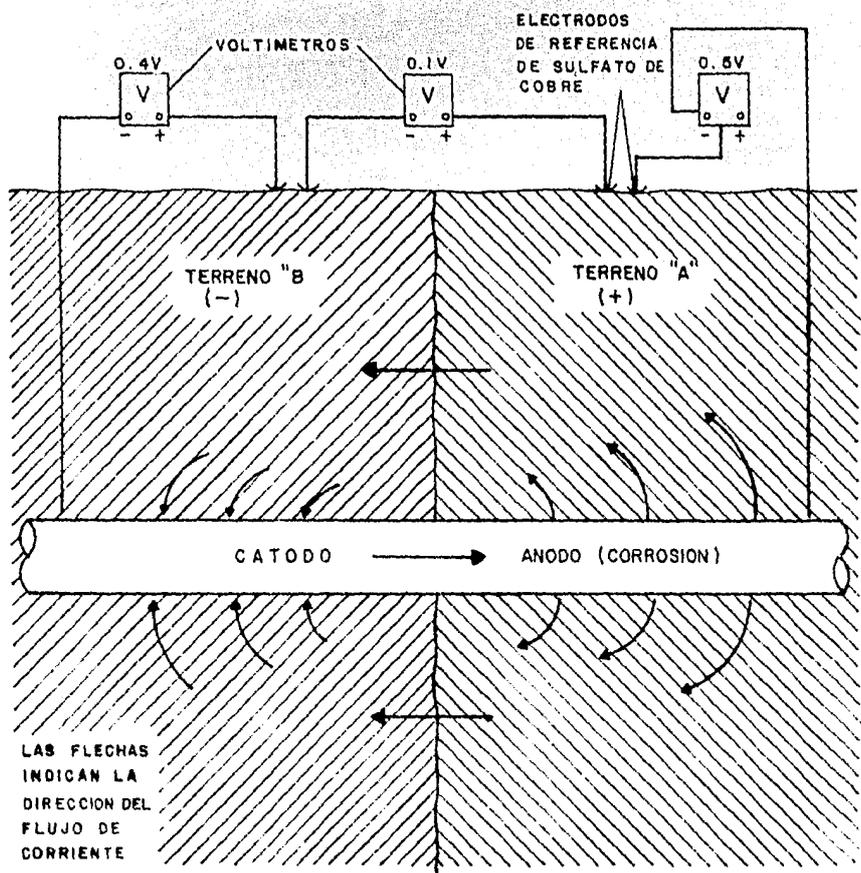
El tramo nuevo de tubería estará expuesto a las mismas condiciones que el resto de la tubería total, salvo que esta tendrá un potencial más electronegativo que la de la tubería vieja, debido a la celda de concentración de las especies involucradas.

Así, la tubería nueva será más rápidamente corroída por actuar como ánodo.

CELDAS DE CORROSION COMO RESULTADO DE TERRENOS DIFERENTES

Cuando una tubería de acero pasa a través de terrenos de diferente naturaleza se establece en ella celdas de corrosión, (Fig. 2.2).

Si el potencial de la tubería en el suelo A se midiera contra un electrodo de referencia tal como un electrodo de Cu-CuSO_4 , se verá que es diferente al potencial del suelo B. El tramo de tubería del lado de mayor potencial actuará como ánodo mismo que sufrirá un ataque corrosivo, debido a la composición diferente de los terrenos donde cruza la tubería.



LAS FLECHAS
INDICAN LA
DIRECCION DEL
FLUJO DE
CORRIENTE

UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN
CORROSION EN TERRENOS DIFERENTES	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG. No. 2 2

CAPITULO III

PROTECCION CATODICA

El contenido de este capítulo tiene como objeto revisar los métodos más utilizados en la protección de estructuras metálicas.

En el año de 1800 Volta describió como produjo corriente eléctrica al apilar discos de cobre, plata ó latón alternándolos con discos de zinc, de forma tal que cada par de discos estaba separado por un material absorbente impregnado con agua salada.

Sir Humphrey Davy llevó a cabo experimentos con los cuales demostró que en cada caso los discos de zinc se corroían mientras que los otros discos metálicos permanecían intactos. Con experimentos posteriores lo llevaron a establecer el concepto de las series electro-químicas.

En el año de 1823 por encargo de la Real Sociedad Davy comenzó a estudiar métodos que previnieran la corrosión en los cascos de los barcos británicos. Los resultados de estos estudios establecieron el concepto de la protección catódica por ánodos galvánicos ó sacrificarles. Y de igual manera Davy consideró la posibilidad de la protección catódica por corriente impresa; pero pensó que el uso de pilas eléctricas en aquella época era poco práctica.

En la actualidad la protección catódica se aplica a todo tipo de equipo industrial. Sea en forma de protección galvánica ó de corriente impresa, para controlar la corrosión de un metal localizado en un electrolito.

Basicamente la corrosión electro-química resulta de un flujo de corriente entre las superficies anódicas y catódicas, nuestro objetivo final para una celda de corrosión de una estructura metálica es eliminar o controlar el flujo de corriente procedente del área anódica. Esto se logra aplicando una corriente generada por una fuente externa de tal forma que la corriente fluya hacia la superficie anódica, en lugar que fluya de ésta.

Por lo anterior predominará sobre la superficie referida una reacción catódica más que una anódica, para lograr esto la fuente de corriente protectora debe ser de un potencial mayor que el de la superficie anódica por proteger.

La cantidad de corriente necesaria dependerá del requerimiento para sostener una reacción catódica en toda la superficie por proteger.

3.1.1 PROTECCION GALVANICA

La protección galvánica consiste en conectar un metal más activo a la estructura que se desea proteger, con objeto de que se corroa de manera preferencial, el uso de ánodos galvánicos en la protección catódica, es una de las aplicaciones de las celdas de corrosión por metales diferentes.

Si una estructura de acero, sea el caso de una tubería enterrada o sumergida, es conectada electricamente a un metal más electronegativo y ambos están en contacto con un electrolito, el metal más activo se corroerá y descargará corriente, que fluirá a través del electrolito hasta la estructura en cuestión.

El ánodo galvánico también llamado ánodo de sacrificio puede describirse como un metal con un potencial más electronegativo que la estructura que se pretende proteger, sus presentaciones pueden ser: cilíndrica, prismática, rectangular, prismática de sección trapezoidal o de brazaletes, con las siguientes características, ya sea que se utilicen en aplicaciones submarinas o subterráneas:

- a). Potencial suficientemente electronegativo para asegurar un flujo de corriente adecuado.
- b). Corriente de salida elevada por unidad de peso de material consumido.
- c). Buen comportamiento de polarización.
- d). Tienen vida útil prolongada.

Los ánodos galvánicos que más se utilizan son: los de magnesio, zinc y aluminio con las siguientes características:

MATERIAL ANODICO.	POT. EN CIRC. ABIERTO (REF Cu/CuSO ₄) EN VOLTIOS.	DRENAJE DE CORRIENTE TEORICO EN AMP-Hr/Lb.	DRENAJE DE CORRIENTE PRACTICO EN AMP-Hr/Lb.	EFICIENCIA DE ANODO %
Magnesio	-1.75	1000	500	50
Zinc	-1.10	372	335	90
Aluminio	-1.10	1350	1280	95

Los ánodos de magnesio se ha encontrado su mayor aplicación en la protección de estructuras subterráneas y los ánodos de zinc y de aluminio se utilizan -- preferentemente para proteger estructuras sumergidas.

A continuación se dan varias fórmulas que pueden utilizarse para determinar la vida útil esperada de un ánodo de peso conocido.

$$L_m = \frac{57.08 \times W \times 0.75}{I} \quad (3.1)$$

$$L_z = \frac{38.24 \times W \times 0.75}{I} \quad (3.2)$$

$$L_a = \frac{146.6 \times W \times 0.75}{I} \quad (3.3)$$

L_m = Vida útil del magnesio (años)

L_z = Vida útil del zinc (años)

L_a = Vida útil del aluminio (años)

W = Peso del ánodo (Lb.)

I = Corriente de salida del ánodo.

En las fórmulas anteriores se considera una eficiencia de corriente de 50% para el magnesio, 90% para el zinc y 95% para el aluminio, de salida teórica --

por libra basada en la Ley de Faraday. También se considera que los ánodos no se consumen totalmente por lo que se toma un factor de utilización del 75 por ciento. Las constantes numéricas de las ecuaciones anteriores engloban los valores de equivalentes electroquímicos y sus respectivos valores de eficiencia de corriente.

Las fórmulas que siguen y los datos de la tabla 3.1, pueden utilizarse para estimar de manera aproximada, la salida de corriente de ánodos estándar de Mg. y Zn. suponiendo una distancia entre los ánodos y la estructura de (3 mts.) y una resistividad superior a 500 ohms, donde la estructura que se va a proteger, esta sin recubrir o tiene un recubrimiento pobre. Los factores de corrosión "Y" de la tabla 3.2 tiene como objetivo corregir la salida de corriente para valores de potencial tubo-suelo diferentes a -0.85 volts -- que va a protegerse.

$$I_m = \frac{150000 fy}{p} ; \quad I_z = \frac{50000 fy}{p} \quad (3.4)$$

Donde:

I_m = Salida de corriente de un ánodo de magnesio. (mA)

I_z = Salida de corriente de un ánodo de zinc. (mA)

P = Resistividad del suelo (Ohm-Cm).

Y = Factor de corrección del potencial tubo-suelo (tabla 3.2)

f = Factor de la tabla No. 3.1

(Es función del área externa del ánodo).

TABLA No. 3.1

PESO DEL ANODO LBS	FACTOR "F"
3	0.59
5	0.66
9	0.81
17 (empacado)	1.00
32 (empacado)	1.16
50 (empacado)	1.22

TABLA No. 3.2

FACTORES DE CORROSION "Y"

P/S	MAGNESIO	ZINC
-0.70	1.14	1.60
-0.80	1.07	1.20
-0.85	1.00	1.00
-0.90	0.93	0.80
-1.00	0.79	0.40
-1.10	0.64	0.00
-1.20	0.50	0.00

Para el caso de instalación de grupo de ánodos la corriente total de salida - puede determinarse calculando la corriente de salida de un solo ánodo y multi plicarse su valor por el factor de ajuste apropiado que se da en la tabla --- No. 3.3

TABLA 3.3

FACTORES DE AJUSTE

NUMERO DE ANODOS EN PARALELO.	ESPACIAMIENTO DE LOS ANODOS, MT. (PIES)			
	1.52 (5)	3.04 (10)	4.57 (15)	6.09 (20)
2	1.893	1.920	1.946	1.964
3	2.455	2.705	2.795	2.845
4	3.036	3.455	3.625	3.714
5	3.589	4.188	4.429	4.563
6	4.125	4.902	5.223	5.411
7	4.652	5.598	6.000	6.232
8	5.152	6.277	6.768	7.036
9	5.670	6.964	7.536	7.875
10	6.161	7.643	8.304	8.679

Las fórmulas anteriores y las tablas deberán usarse únicamente como una guía para estimar las corrientes de salida de los ánodos galvánicos, debido a que muchas variables están involucradas, las verdaderas corrientes de salida solo pueden obtenerse por medición directa en el campo, una vez que se han hecho las instalaciones.

Los sistemas de protección catódica deberán de limitar el potencial de protección (p/s) a un valor máximo de 1.5 Volts (Ref. Cu/CuSO₄ sat.) para evitar daños al revestimiento anticorrosivo de la tubería, tal como ampolladuras principalmente u otro tipo de daños a la estructura.

El propósito de rellenar las excavaciones donde se colocan los ánodos es para reducir el efecto de polarización, así como el que se distribuya el ataque corrosivo en toda la superficie del ánodo y además reducir la resistencia por contacto ánodo suelo.

Los rellenos típicos para ánodos galvánicos son: yeso, bentonita, sulfato de sodio entre otros.

	CaSO ₄ (Hidratado) %	Bentonita %	Na ₂ SO ₄ %	RESISTIVIDAD APROX. OHMS-CM
A	25	75	--	250
B	50	50	--	250
C	75	20	5	50

El relleno (A) se utiliza en zonas húmedas y de resistividad menores a 500 Ohm-Cm. El relleno (B) se usa frecuentemente con ánodos de zinc.

El relleno (C) que tiene baja resistividad es útil en suelos de alta resistividad.

Los requerimientos de un sistema de protección catódica del equipo que se requiere controlar son:

- a). Cantidad de corriente que requiere la estructura o cátodo.
- b). Número de puntos para la distribución más adecuada de la corriente requerida (puntos de drenaje de corriente).
- c). Distribución geométrica de esos puntos de drenaje.
- d). Potencial requerido en cada punto de drenaje.

Para la determinación de la cantidad de corriente de protección catódica depende fundamentalmente de la cantidad de área expuesta de la estructura, y la actividad del electrolito.

Cuando se trata de estructura bien preparadas y con un revestimiento dieléctrico de buena calidad, para estos casos la demanda de corriente por unidad de área es difícil de establecer teóricamente, y por lo general se tiene que recurrir a pruebas eléctricas directas en campo del requerimiento de corriente para la protección catódica.

Estas pruebas son aplicaciones de corriente directa a la estructura metálica por proteger, obteniéndose datos suficientes para determinar la cantidad de corriente necesaria de protección, también se usan para determinar las atenuaciones de potencia que sirven como base para espaciar los puntos de drenaje, así como poder calcular el por ciento de área desnuda y diseñar el sistema de protección más conveniente.

Para desarrollar la prueba de requerimiento de corriente se requiere:

Fuente de energía eléctrica de corriente directa. (Batería, rectificadores portátiles, máquina de soldar, etc.).

Voltímetros de corriente directa con una resistencia interna mínima de 1000 ohm por volts, y con escala desde 20 mV hasta 10 volts.

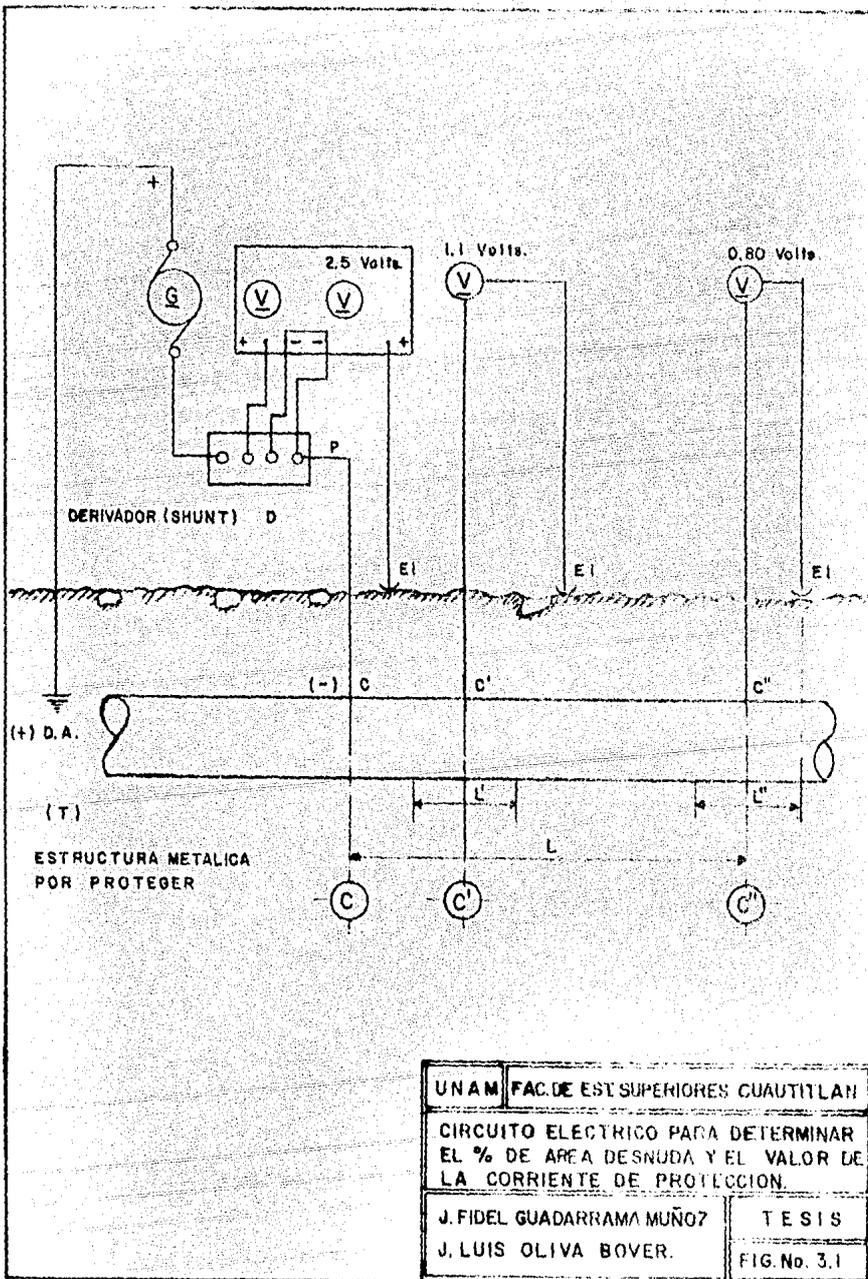
Electrodo de referencia. Media celda de cobre, sulfato de cobre saturado.

Derivador de corriente.

Conductores eléctricos de cobre de diferentes calibres y tipos.

Soldadura por aluminio-termia de preferencia.

La prueba de campo tiene como base el circuito eléctrico que a continuación se ilustra en la figura 3.1



Para calcular el por ciento de área desnuda se deben tomar dos secciones de la estructura metálica a cada lado del punto de drenaje como derivadores y se deben localizar en los puntos donde se obtengan potenciales de -0.85 volts y un valor próximo a -1.0 volts; la corriente que fluye en ambas secciones se calcula determinando potenciométricamente las caídas de tensión en los extremos de dicha sección.

Si se tiene un tramo de longitud "L" conocida, limitada por las secciones C' y C", como se observa en la Fig. 3.1 y además se conoce la intensidad de las corrientes que fluyen en dichas secciones cuya diferencia es la corriente de protección consumida en la longitud "L", se obtiene el por ciento del área desnuda (A).

$$(A) = \frac{10^5 (I_1 - I_2)}{\pi DL (dc)} \quad (3.5)$$

I_1 = Intensidad de corriente que pasa por la sección C'.

I_2 = Intensidad de corriente que pasa por la sección C".

πDL = Área exterior del tramo de tubería de longitud "L"

dc = Densidad de corriente estimada por unidad de área que tiene la tubería - en los lugares en que el recubrimiento ha sido afectado o dañado, aproximadamente se consideran los siguientes valores para las estructuras metálicas enterradas.

$$0.0108 \text{ Amp}/\text{m}^2 \quad (1\text{mA}/\text{ft}^2)$$

$$0.0216 \text{ Amp}/\text{m}^2 \quad (2\text{mA}/\text{ft}^2)$$

Con el porcentaje (%) de área desnuda se determina la cantidad de corriente de protección necesaria I_p .

$$I_p = \frac{\pi D L (A)}{10^5} \text{ (dc)} \quad (3.6)$$

D = Diámetro exterior de la tubería.

A = % de área desnuda.

Para el por ciento de área desnuda se considera un intervalo de 2 al 5% en estructuras metálicas nuevas y para efecto de cálculo. (25)

Para el caso de tuberías submarinas se procede al cálculo del requerimiento de corriente a partir de la resistencia del ánodo.

$$R_a = \frac{0.315 \rho}{\sqrt{A_a}} \quad (3.7)$$

Donde:

P= Resistividad del electrolito (ohms-Cm)

Aa= Área expuesta del ánodo (Cm^2).

Ra= Resistencia del ánodo (Ohm).

$$I_a = \frac{\Delta V}{R_a} \quad (3.8)$$

Donde:

I_a = Intensidad de corriente (ampers)

ΔV = Potencial de conducción.

El potencial de conducción, para el acero polarizado, se determinará como la diferencia entre el potencial del circuito cerrado y el potencial dado en la tabla 3.4

Para el caso de temperaturas diferentes al intervalo de 5 a 25° C, el voltaje de protección dado en la tabla anterior no se puede aplicar, salvo que se corrija por efecto de temperatura, esto es 1 MV/°C más negativo al valor de la tabla anterior para el intervalo de 26 a 100° C. Para determinar la corriente total de protección de una tubería se empleará la siguiente ecuación:

$$I_t = \pi \times D \times L \times dc \times \Delta E \quad (3.9)$$

ΔE = por ciento de área sin recubrir

I_t = Corriente total de protección (Ampers)

D = Diámetro de la tubería (mts.)

L = Longitud de la tubería a proteger (mts)

dc = Densidad de corriente mA/M².

TABLA 3.4

POTENCIAL (VOLTS) PARA PROTECCION CATODICA EN EL ACERO

M E T A L	CU/CUSO4	AG/AGCL	ZN
ACERO EN MEDIO AM BIENTE AEROBICO.			
LIMITE POSITIVO	- .085	-0.80	+ 0.25
LIMITE NEGATIVO	-1.10	-1.05	0.00
ACERO EN MEDIO AM BIENTE ANAEROBICO			
LIMITE PASITIVO	-0.95	-0.90	+ 0.15
LIMITE NEGATIVO	-1.10	-1.05	0.00
MUY ALTA RESISTEN CIA DEL ACERO. (RESIST. \geq 700 MPa)			
LIMITE POSITIVO	-0.85	-0.80	+ 0.25
LIMITE NEGATIVO	-1.00	-0.95	+ 0.10

En el intervalo de temperatura de 25 a 100°C se aumentará en la densidad de corriente del orden de 1 mA/m^2 por cada °C. (8)

La temperatura a considerar va a ser la de la diferencia entre el hidrocarburo y la del agua del lecho marino.

La protección catódica con ánodos de sacrificio tiene ventajas y desventajas con respecto al sistema de protección con rectificadores.

VENTAJAS:

1. Son independientes de cualquier fuente de energía eléctrica.
2. Su instalación es relativamente sencilla; se pueden hacer modificaciones hasta obtener el efecto deseado.
3. Es improbable que dañen cualquier estructura vecina debido a que la entrega de corriente en cualquier punto es baja.
4. Sus costos son mínimos por mantenimiento e instalación.

DESVENTAJAS:

1. Su uso en instalaciones, se puede ver limitada a la protección de estructuras bien revestidas o a proporcionar protección de tipo local debido a la corriente limitada que esta disponible.
2. Su uso es principalmente en suelos o en agua de baja resistividad.
3. Los sistemas de protección galvánica implica grandes cantidades de material anódico.

4. Su drenaje de corriente no puede ser controlado.

3.1.2 PROTECCION POR RECTIFICADORES

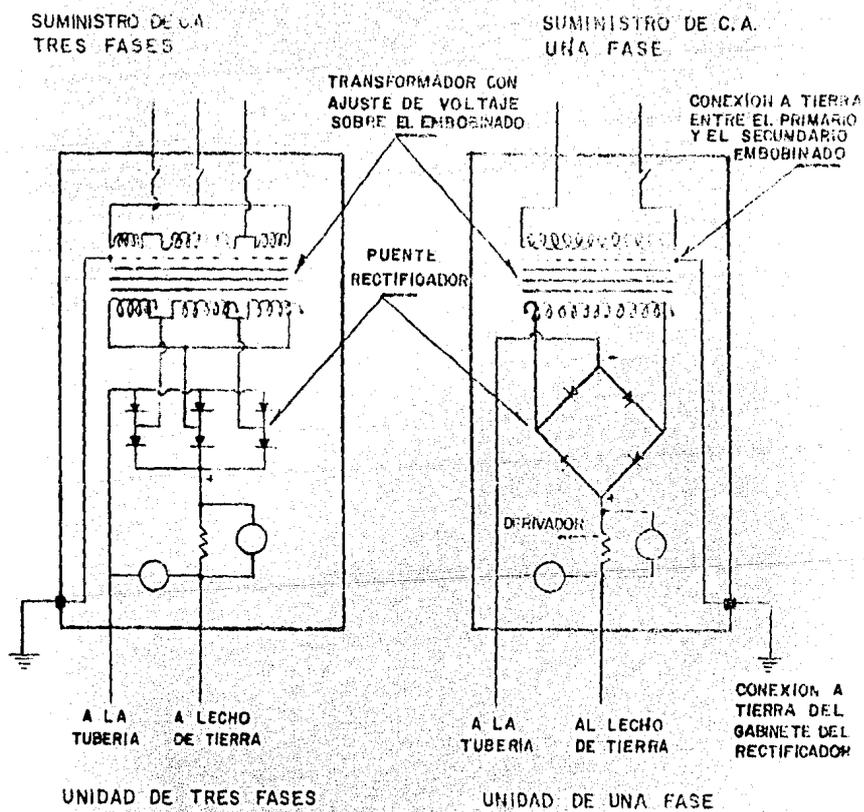
Este segundo método de aplicación de protección catódica, utiliza energía primaria (c.a.) del exterior para imprimir corriente directa controlada por medio de un rectificador a la estructura por proteger.

Con el sistema de corriente impresa se energizan los ánodos por medio de corriente directa. Estos se deben de instalar en el electrolito y conectarse al polo positivo (+), y la estructura metálica por proteger se deberá conectar a la terminal negativa (-) del rectificador como se muestra en la Figura 3.2, para el caso del monofásico y trifásico.

Determinando el número mínimo de puntos de drenaje y con los resultados de las pruebas de requerimiento de corriente, se conoce la demanda de ésta en cada punto; con estos datos se deben calcular las características de cada rectificador, estas son: Intensidad de la corriente a proporcionar i_p en Ampers, tensión de operación en volts.

La corriente es un dato obtenido de los resultados de las pruebas de requerimiento de corriente.

La tensión de operación corresponde a la suma de las caídas de tensión en todos y cada uno de los elementos que integran el circuito.



NOTA:

LA DIRECCION DE LAS FLECHAS INDICAN EL FLUJO DE CORRIENTE A TRAVES DE LOS ELEMENTOS

UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUANTITILAN
DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL DEL RECTIFICADOR DE CORRIENTE.	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG. No. 3.2

$$V = R(t) I + P/S + 0.9 + (-0.34) \quad (3.10)$$

Donde:

V = Tensión que se busca

$$R(t) = R(c) + R(e) + R(g) \quad (3.11)$$

$R(t)$ = Resistencia total del circuito.

$R(c)$ = Resistencia de los cables conductores del circuito; se calcula conociendo el calibre y generalmente es despreciable con respecto al valor de la resistencia total $R(t)$.

$R(e)$ = Resistencia a la estructura metálica por proteger con respecto a una tierra remota de resistencia nula.

Su valor varía entre 0.25 y 0.5 veces la resistencia en Ohms, medida en una junta aislante colocada entre una y otra estructura metálica y su valor exacto depende del contacto a tierra que tenga la última estructura metálica.

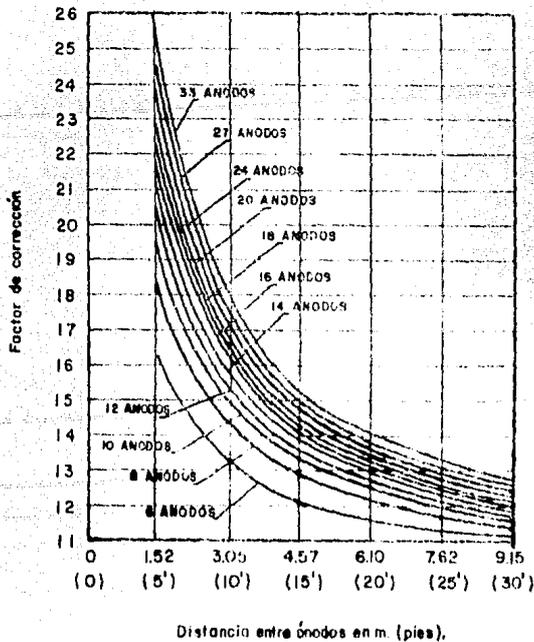
$R(g)$ = Resistencia en Ohms del dispositivo de tierra o dispositivo anódico que se emplea. Este dispositivo es una serie de barras de grafito enterradas y rodeadas de un empaque de coque triturado lo que constituye el electrodo positivo del sistema. Para calcular $R(g)$ se busca la resistencia de un sólo ánodo empleando la tabla 3.5 y este se afecta por un factor de corrección (F) de la Graf. 3.6, la que tiene como parámetro -

**RESISTENCIA A TIERRA DE UN SOLO ANODO
VERTICAL PARA SUELOS DE 1000 Ohms cm**

DIAMETRO EN cm. (pulg.)	LONGITUD EN m. (pies)						
	0.609 (2')	0.915 (3')	1.22 (4')	1.52 (5')	1.83 (6')	2.14 (7')	2.44 (8')
7.62 (3")	8.3	6.2	5.0	4.3	3.7	3.3	3.0
10.16 (4")	7.5	5.7	4.7	4.0	3.5	3.1	2.8
15.24 (6")	6.4	5.0	4.1	3.5	3.1	2.8	2.5
20.32 (8")	5.7	4.5	3.7	3.2	2.9	2.6	2.3
25.40 (10")	5.1	4.1	3.5	3.0	2.7	2.4	2.2
30.50 (12")	4.6	3.8	3.2	2.8	2.5	2.3	2.1
35.56 (14")	4.2	3.5	3.0	2.6	2.3	2.1	2.0
40.64 (16")	3.9	3.3	2.8	2.5	2.2	2.0	1.9

TABLA 35

El material de relleno se incluye para los ánodos de corriente impresa para los ánodos galvánicos solo se usan las dimensiones del ánodo para suelos de resistividad diferente a 1000 Ohms-cm. se usa ese valor como numerador y 1000 como denominador y se multiplica por la resistencia que se indica en la tabla.



GRAF. 36

**FACTOR DE CORRECCION DE LA RESISTENCIA POR
ESPACIAMIENTO DE ANODOS VERTICALES
(Galvanicos o de grafito).**

el número de ánodos agrupados y la distancia entre ellos.

I= Intensidad de la corriente obtenida.

P/S= Potencial máximo tubo-suelo en el punto de drenaje (-2.5 V).

0.90 Volts= Potencial de grafito.

-0.34 Volts= Potencial de la medida celda Cu/CuSO₄ saturado

La gráfica 3.6 también es válida para ánodos galvánicos usando las dimensiones de estos, sin el material de relleno.

Los dispositivos de tierra pueden ser de los siguientes materiales: Pb-Ag, Fe fundido, aleaciones de acero con alto contenido de carbono y chatarra.

Anodos de Grafito.

El grafito es el material más empleado para la instalación de dispositivos -- anódicos en tierra por su magnífica conductividad y su bajo consumo en la mayor parte de los suelos. Su consumo es del orden de 0.2 a 0.5 lb/amp.- año, a densidades de corriente de 0.5 a 1 amp/ft² de superficie anódica.

Sin embargo este consumo se incrementa considerablemente a mayores densidades de corriente debido a la formación de oxígeno en la superficie anódica, que reacciona con el grafito destruyéndolo. Esto se evita manteniendo densidades de corriente anódica moderadas e instalando los ánodos en agujeros de mayor diámetro y rellenando el espacio anular de coque o grafito triturado.

Los ánodos de grafito también vienen en forma cilíndrica de las dimensiones - siguientes: 3" \emptyset x 60" de longitud y 4" \emptyset x 60" de longitud entre otras.

Anodos de Platino.

El platino siendo un metal noble, se emplea como ánodo inerte para impresión de corriente de protección catódica. Su consumo es prácticamente nulo a cualquier densidad de corriente, puesto que es muy buen conductor y puede manejar grandes cantidades de corriente, presenta el problema de su alto costo lo que hace su uso extraordinariamente restringido por lo que generalmente se emplea en forma de recubrimiento sobre otro metal base, como la plata o el titanio.

Anodos de Plomo.

El plomo se usa como material para ánodos inertes debido a que presenta ventajas en este servicio, especialmente en agua de mar. El plomo comercialmente puro sufre fuertes desgastes por corriente anódica, pero aleado con 1% de plata y 6% de antimonio presenta una magnífica resistencia al desgaste, tolerando densidades de corrientes altas.

Su consumo una vez polarizado es del orden de 0.1 a 0.2 lb/amp-año en agua de mar.

Los ánodos antes descritos se utilizan generalmente en grupo.

Los problemas prácticos de protección catódica a base de corriente impresa, --

suelen requerir cantidades fuertes de corriente, por lo que se tienen que --- agrupar varios elementos, en lo que se llama dispositivo de contacto a tierra o cama anódica. con el objeto de reducir la resistencia del circuito y consecuentemente la potencia consumida.

Para la instalación de ánodos de corriente impresa o ánodos inertes es necesario tener especial cuidado en las conexiones del cable anódico a los ánodos. Todas las conexiones que finalmente quedarán enterradas o sumergidas al formar una cama anódica, representan la parte crítica del sistema pues su potencial es fuertemente positivo con respecto al suelo y una mínima exposición -- del cable dará lugar a un problema muy violento de electrolisis, en el que rápidamente el cable se corta y el ánodo queda fuera de servicio.

Las camas de ánodos se instalan procurando ubicarlas donde la resistencia sea baja y se tenga la seguridad de humedad permanente. Casi siempre son instalados en posición vertical.

El cable que conecta la cama anódica con el borne positivo (+) del rectificador, es decir el cable anódico debe ser de forro especial completamente impermeable, para este servicio el de cobre de doble forro a base de polietileno A.D. y PVC para enterrarlo directo.

El cable que conecta al polo negativo (-) del rectificador con la estructura - por proteger, es decir, el cable catódico no presenta problemas de electrolisis cuando está en contacto con el electrolito. De todas formas se recomienda

utilizar el mismo tipo de cable de doble forro empleado en la conexión anódica.

En el diseño de un dispositivo anódico debe tenerse como base baja resistividad del terreno en el que quedará alojado. Por esta razón debe iniciarse el diseño con el cálculo de la resistencia del contacto a tierra de un ánodo, -- considerando su diámetro y longitud respectivamente. Con la gráfica 3.3, se obtiene el valor en por ciento de la resistencia de un simple ánodo de grupo, mismo que se obtiene:

$$R_a = \frac{KP}{100} \quad (3.12)$$

Donde:

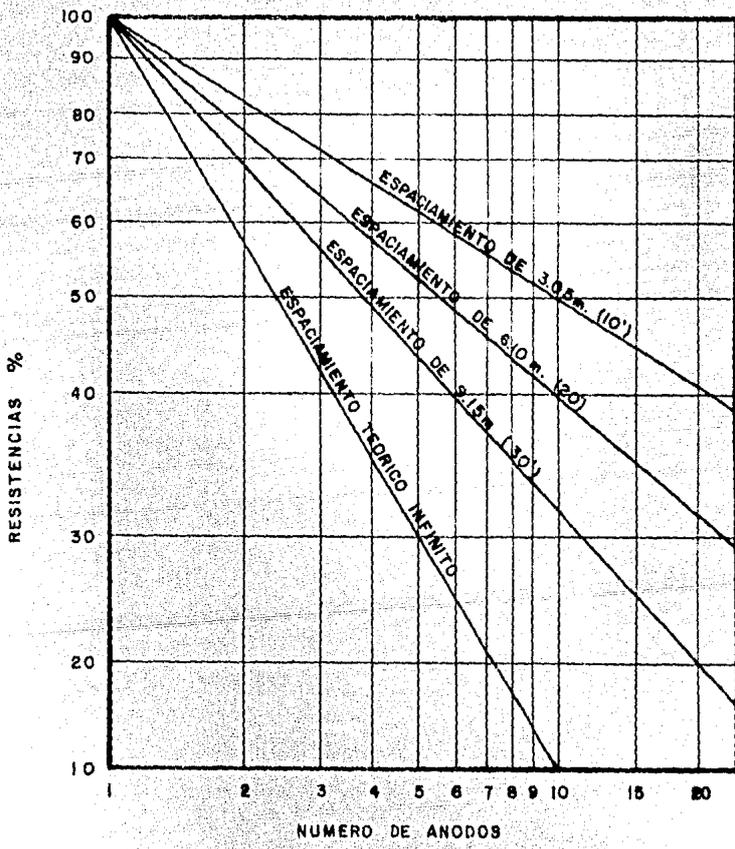
R_a = Resistencia a tierra de un ánodo Ohms.

P = Resistividad del suelo medido en Ohms-Cm.

K = Constante que depende de la longitud y diámetro del ánodo. Ver tabla --
3.7

La resistencia de un solo ánodo suele ser de valor muy elevado y por esa razón se debe usar más ánodos para que de acuerdo al número de éstos y su espaciamiento se obtenga un valor conveniente de la resistencia del grupo de ánodos.

Las siguientes fórmulas permiten calcular la resistencia de un solo ánodo cilíndrico vertical u horizontal:



RESISTENCIA ELECTRICA DE UN GRUPO DE ANODOS DE GRAFITO, EN PORCIENTO DE LA RESISTENCIA DE UN SOLO ANODO DEL GRUPO

GRAF. 3.3

$$R_v = \frac{0.0052P}{L} \left(\frac{\ln \frac{8L}{d} - 1}{d} \right) \quad (3.13)$$

$$R_h = \frac{0.0052P}{L} \left(\frac{\ln \frac{4L^2 + 4L \sqrt{S^2 + L^2}}{ds} + \frac{S}{L} - \sqrt{S^2 + L^2} - 1}{L} \right) \quad (3.14)$$

Donde:

R_v = Resistencia de un ánodo vertical en Ohms.

R_h = Resistencia de un ánodo horizontal en Ohms.

P = Resistividad del electrolito en Ohms - Cm.

L = Longitud de ánodo incluyendo el relleno (mts.)

d = Diámetro del ánodo con el relleno (mts).

S = El doble de la profundidad del ánodo (mts).

La resistencia de un grupo de ánodos verticales conectados en paralelo, con el mismo espaciamiento entre ellos colocados en una misma fila se expresa como si que:

$$R_n = \frac{I}{nR_v} + P_v(P/S) \quad (3.15)$$

Donde:

R_n = Resistencia del grupo de ánodos verticales con la misma separación, --
Ohms.

n = Número de ánodos.

R_v = Resistencia de un solo ánodo vertical. Ohms.

P_i = Resistividad del suelo medido con un espaciamento entre electrodos --
(mts), igual a S , Ohms-Cm.

P = Factor de paralelismo. (Ver Tabla 3.8)

S = Espaciamento entre ánodos adyacentes, (mts).

TABLA No. 3.7

L/d	K
5	0.0140
6	0.0150
7	0.0158
8	0.0165
9	0.0171
10	0.0177
12	0.0186
14	0.0194
16	0.0201
18	0.0207
20	0.0213
25	0.0224
30	0.0234
35	0.0242
40	0.0249
45	0.0255
50	0.0261
55	0.0266
60	0.0270

TABLA No. 3.8

n	P
2	0.00261
3	0.00289
4	0.00283
5	0.00268
6	0.00252
7	0.00237
8	0.00224
9	0.00212
10	0.00201
12	0.00182
14	0.00168
16	0.00155
18	0.00145
20	0.00135
22	0.00128
24	0.00121
26	0.00114
28	0.00109
30	0.00104

Breve guía para seleccionar un rectificador de c.a. para ser usado en sistemas de corriente impresa.

Se procura siempre seleccionar la unidad más simple posible para su aplicación particular. En muchos casos un rectificador de una sola fase, será la mejor selección. Las unidades de tres fases solo deberán seleccionarse donde el costo de la energía eléctrica es económicamente accesible y la eficiencia entre las unidades de una sola fase y la de tres fases representan una diferencia significativa en el costo de la energía eléctrica. No debe olvidarse que las unidades trifásicas son mucho más complicadas para su mantenimiento y ajuste que las unidades de una sola fase.

De modo similar las unidades sumergidas en aceite deberán seleccionarse en áreas donde la atmósfera es muy corrosiva o en áreas donde existe mucho polvo.

No se debe temer seleccionar un rectificador con una mayor capacidad de la que realmente se necesita, es mejor tener mayor capacidad de la que se requiere y no utilizarla.

La capacidad adicional del rectificador por lo general es la parte menos costosa de un sistema de protección catódica, al mismo tiempo debe pensarse en que la unidad que seleccione opere a más de 50% de su capacidad total especificada puesto que la eficiencia disminuye cuando el rectificador es operado debajo del valor anterior. Los bancos de selenio son generalmente más baratos y convenientes que los de silicio.

En unidades de gran capacidad particularmente aquellas con elevadas salidas de voltaje, el silicio puede ser la mejor selección.

El silicio es generalmente más susceptible a sobre cargas de corriente que el selenio y este es más susceptible a variaciones de voltaje.

La protección catódica por corriente impresa tiene ventajas y desventajas con respecto al sistema de protección con ánodos galvánicos, estas son:

VENTAJAS:

1. Se puede aplicar a una gran variedad de estructuras, incluyendo por -- ejemplo a estructuras grandes con y sin revestimiento.
2. En general, requiere de un número menor de ánodos.
3. Requiere de controles relativamente simples y pueden ser del tipo automático para mantener los potenciales dentro de límites específicos, a pesar de las variaciones de las condiciones del sistema.
4. Aplicable en casi toda la gama de resistividades de terrenos.
5. Se controla la cantidad de corriente de salida.

DESVENTAJAS:

1. Requiere de una fuente de suministro de corriente.
2. Requiere que se revise la polaridad durante la instalación puesto que una mala conexión puede invertir la polaridad y por lo tanto acelerar la corrosión de la estructura.
3. Requiere que las conexiones al lado positivo del rectificador que están en contacto con el suelo o el agua, sean apropiadamente aisladas. De otra forma, las conexiones se corroerán severamente.
4. Puede causar potenciales altos que podrían resultar en la separación del revestimiento de la tubería.
5. Implica gastos mensuales por concepto de consumo de energía eléctrica.
6. Puede provocar problemas de interferencia con otras estructuras vecinas debido a las corrientes extraviadas.

CAPITULO IV

CRITERIOS PARA LA PROTECCION CATODICA

En este capítulo se darán los principales criterios para la aplicación de la protección catódica, mismos que dependen en gran parte, en experiencias pasadas tomadas de proyectos similares, en donde los criterios que fueron aplicados han tenido éxito.

El parámetro más importante a determinar es el potencial mismo del metal que garantizará que la estructura que se pretende proteger, trabaje permanentemente como cátodo.

El criterio más aceptado es el que establece que el potencial de la estructura-electrolito deberá tener un valor de -0.85 V., medido a través de un electrodo de referencia Cu/CuSO_4 Sat., siendo la estructura por proteger negativa. La determinación de este potencial debe hacerse con la corriente de protección aplicada. Este es el criterio más usado (sobre todo en estructuras con revestimiento), ya que es el más fácil de comprobar por mediciones directas en campo⁽²³⁾.

Otro criterio se basa en un cambio de voltaje negativo catódico por lo menos de 300 mV. medido entre la estructura y un electrodo de referencia Cu/CuSO_4 Sat. La medición de dicho cambio debe hacerse con la corriente de protección aplicada. (Este criterio se utiliza en tuberías sin revestimiento).⁽²³⁾

Como tercer criterio se basa en la elaboración de curvas de corriente-voltaje que son utilizadas para determinar la cantidad de corriente requerida para lograr la protección catódica sobre un tramo de tubería. Este método puede ser usado sobre una tubería descubierta. Esencialmente consiste en aplicaciones de incrementos de corriente de protección y su medición correspondiente de potencial para cada incremento, estos valores obtenidos son graficados potencial Vs Log I (corriente total aplicada).

En la gráfica 4.1 se observa un cambio de pendiente en la curva lo que nos indicará la cantidad de corriente que se requirió de la fuente de poder, para proteger la línea en el punto donde las mediciones de potencial son tomadas. El punto de cambio de pendiente para la curva puede ser mucho más definida sobre la misma estructura bajo prueba, la homogeneidad del medio ambiente de las áreas anódicas y catódicas sobre la estructura y la posibilidad de otros factores.

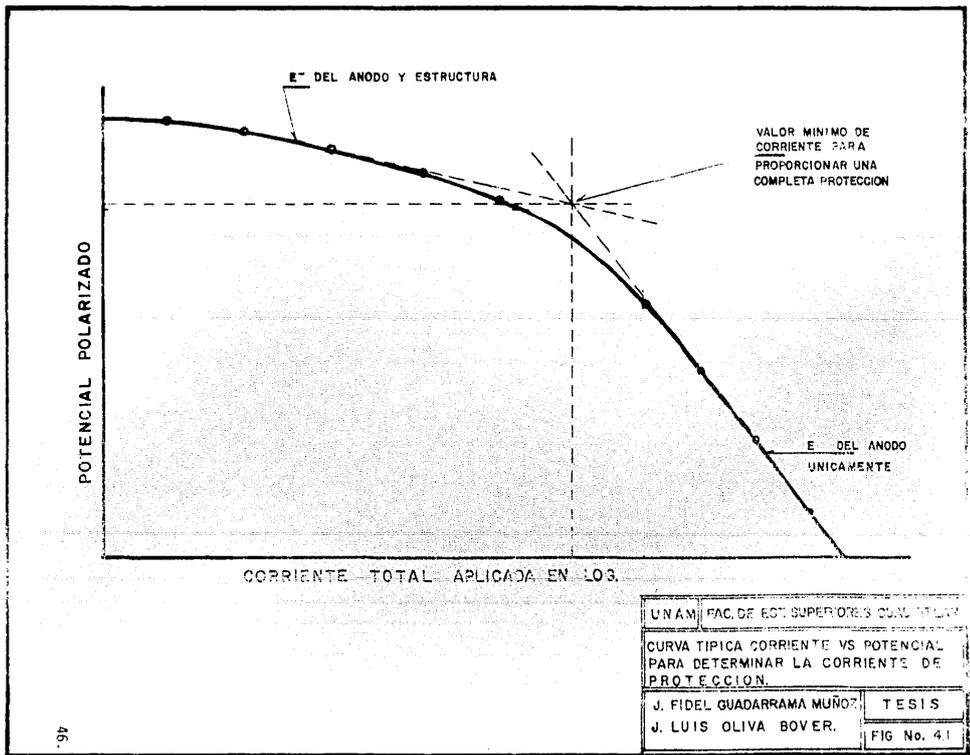
Cuando está ocurriendo la corrosión de manera significativa, el potencial de corrosión es una mezcla de las reacciones anódicas y catódicas sobre la estructura y cuando la corriente de protección catódica aumenta, la reacción predominante sobre la estructura es la catódica y en menor grado la anódica, puesto que las dos reacciones tienen diferentes pendientes de "Tafel" es decir, un cambio de pendiente ocurrirá cuando la reacción de corrosión cese.

Esta ecuación obedece al comportamiento de la curva de la gráfica de "Tafel".

$$N = B \text{ Log } \frac{I}{I_0} \quad (4.1)$$

Donde:

- N = Sobrevoltaje Volts
- I_0 = Corriente intercambiada mA.
- I = Densidad de corriente mA/Cm².
- B = Pendiente de tafel.



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES COND. MEX.
CURVA TIPICA CORRIENTE VS POTENCIAL PARA DETERMINAR LA CORRIENTE DE PROTECCION.	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG No. 41

CAPITULO V

INSTRUMENTOS DE MEDICION E INSPECCION DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA

En los procesos actuales por sencillos que estos sean no es posible prescindir de los instrumentos de medición, como herramientas auxiliares de control del hombre, puesto que estos le facilitan la manufactura de un producto determinado, mismos que le ayudan a aumentar su cantidad y calidad de producción.

Para el caso en que se aplica un recubrimiento anticorrosivo, es necesario controlar la preparación de la superficie metálica y la correcta aplicación del mismo para obtener finalmente un recubrimiento de buena calidad, para lo cual se debe contar con el siguiente equipo de inspección:

- a). Medidor de película húmeda.
- b). Medidor de película seca.
- c). Detector eléctrico de fallas de recubrimiento anticorrosivo.
- d). Higrómetro.
- e). Peine con ranuras.
- f). Voltímetro.
- g). Amperímetro.

Para el caso de la preparación de la superficie metálica con abrasivos, se usarán lámparas con patrones de limpieza de 0.0127 a 0.1143 milímetros, que por comparación óptica con la superficie que se limpió, se determina la profun

didad del anclaje que ha dejado el abrasivo en el metal, y de esta manera decidir si satisface la rugosidad de la superficie metálica para el tipo de recubrimiento por aplicar.

Los sistemas de cubiertas protectoras, establecen un espesor de película mínima del primario y acabado para proporcionar una buena protección anticorrosiva en un plazo esperado por lo que es de vital importancia controlar el espesor durante su aplicación. (24)

Los instrumentos utilizados en la medición de espesores de película son los siguientes:

a). Medidor de película húmeda.

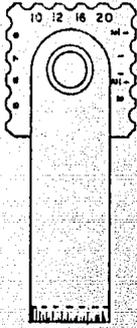
Este tipo de instrumento sirve para medir el espesor del recubrimiento inmediatamente después de ser aplicado. Un aparato adecuado para este propósito es el medidor de película húmeda de lectura directa similar al Nordson. El instrumento se coloca perpendicular a la superficie metálica y el espesor del recubrimiento se lee directamente en milímetros en las ondulaciones del perfil de este instrumento, si el calibrador se usara para determinar espesores de película humedad de capas subsecuentes a la primera, debe tenerse cuidado de que las capas inferiores parcialmente endurecidas no sean penetradas bajo la presión del calibrador dando lecturas más altas. Ver Fig. 5.1

b). Medidor de película seca.

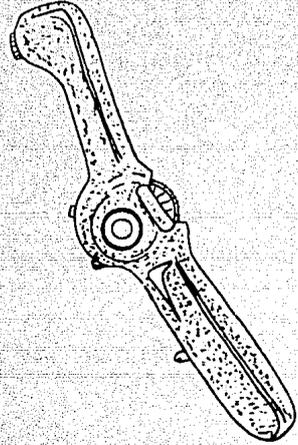
Los tipos de calibradores de espesores más usados para trabajos de campo son los de tipo magnético operados por imanes permanentes, tales como el "El Cómetro" y "Mikrotest", mismos que trabajan sobre el principio de que un recubrimiento cambia la reluctancia al paso del flujo magnético que haya sido establecido entre la cabeza del calibrador y la base magnética a la cual se ha aplicado el recubrimiento.

Este cambio de reluctancia es una función del espesor del recubrimiento pudiendo calibrarse el aparato para leer el espesor directamente. Los instrumentos deben calibrarse con una laminilla empleada como patrón que sea aproximadamente del espesor del recubrimiento a medir. La calibración consiste en la colocación del patrón del espesor conocido sobre una superficie metálica desnuda y ajustar el instrumento hasta que se lea el espesor correcto. Sobre una superficie limpia y lisa, el instrumento se debe leer cero cuando se retira el patrón y el aparato haga contacto con la superficie. Ver Fig. 5.1

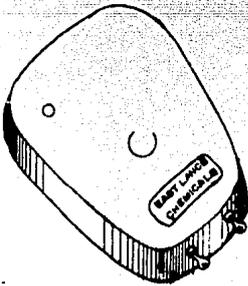
Debe tenerse cuidado de no penetrar el recubrimiento al presionar el calibrador para hacer la lectura, puesto que se obtendrían lecturas erróneas de espesores. Deben hacerse suficientes mediciones para determinar la uniformidad general de espesor del recubrimiento y determinar si los espesores máximos y mínimos especificados se cumplen.



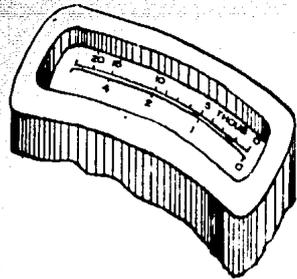
NORDSON



MIKROTEST



ELCOMETRO



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTILAN
INSTRUMENTOS DE CONTROL DE CALIDAD PARA EL RECUBRIMIENTO.	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER	FIG. No. 5.1

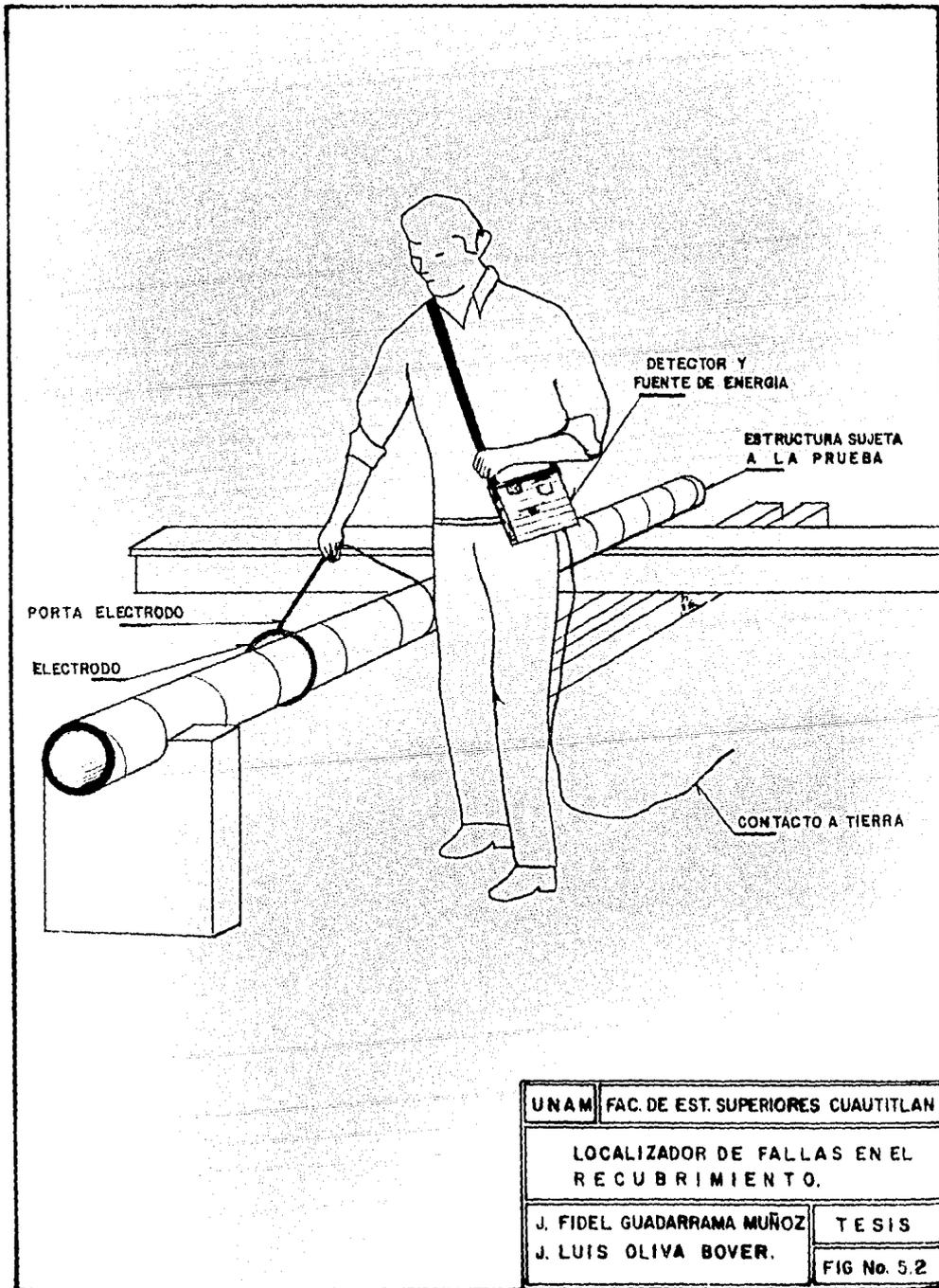
c). Detector eléctrico de fallas de recubrimiento anticorrosivo.

Es un equipo portátil, de baja corriente, tensión ajustable, tipo impulso, con un dispositivo de señal audible y luminosa.

El aparato dispone de dos electrodos uno de los cuales se conecta a tierra o a cualquier parte descubierta de la superficie metálica y el de inspección de forma de resorte espiral, el cual al pasar por la falta de continuidad de película cierra el circuito eléctrico a través de la estructura metálica accionando el mecanismo que indica la existencia de la falla; el lugar de la falta de continuidad de película se localiza a simple vista en el punto en que se forma el arco eléctrico entre el electrodo de inspección y la estructura metálica. Ver Fig. 5.2

La frecuencia mínima de la tensión debe ser de 20 ciclos/seg. La tensión de operación del detector debe ser determinada como se explica más adelante pero en ningún caso menor de 12100 volts. El detector debe ser ajustado no menos de 3 veces al día obligado por la humedad relativa y por la temperatura; una vez antes de iniciar los trabajos, otra a media jornada y finalmente verificar después de la última jornada, que el aparato no tiene desajustes.

La tensión de operación del detector debe ser determinado con el siguiente procedimiento:



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN
LOCALIZADOR DE FALLAS EN EL RECUBRIMIENTO.	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG No. 5.2

Seleccionar una área con revestimiento anticorrosivo en el traslape -- del fieltro, aproximadamente a 40 cms. del extremo del tramo de tubería. Esta localización representa el espesor máximo del revestimiento sobre el tubo. Agujerar el revestimiento y envoltura con una navaja puntiaguda. Mover el electrodo del detector de un lado al otro del -- agujero y reducir el voltaje hasta que el detector cese de registrar -- al conocido agujero. Colocar una tira de fieltro de asbesto seco, saturado con alquitrán de hulla de 6.8 Kg/30.4 m. sobre el agujero; mué vese el electrodo del detector de atrás hacia adelante y lentamente in crementese la corriente hasta que el detector comience a registrar el agujero.

Una vez efectuado el ajuste del aparato, debe aplicarse al recubrimien to en producción; cualquier desperfecto en el esmalte o falla, es indi cado por una chispa entre el electrodo en la superficie del metal, y - por señal audible y luminosa. Estas fallas se marcan sobre la superfi cie del revestimiento para su reparación de acuerdo a la forma especi ficada. Estas reparaciones deben probarse y serán aceptadas cuando el detector no indique falla.

La inspección eléctrica es una prueba de continuidad de una cubierta - protectora, este tipo de inspección no provee información concerniente a la resistencia de la cubierta adhesividad, características físicas, o la calidad cubriente de la misma.

Esta inspección detecta burbujas, ampollas vacías, grietas, puntos delgados o inclusiones extrañas o contaminantes contenidos en la cubierta que son de tal tamaño, cantidad o conductividad en cuanto a la importancia de disminuir la resistencia eléctrica de la cubierta.

Un detector tipo impulso suministra un impulso de alto voltaje de muy corta duración. La duración del impulso como ejemplo es de: 0.002 segundos a una velocidad de 30 impulsos por segundos. La tensión mínima de prueba para el espesor de una cubierta en particular debe estar dentro del 20% del valor determinado por la siguiente fórmula y tabla.

$$\text{Tensi3n de prueba} = 1250 \sqrt{T} \quad (5.1)$$

T = Espesor promedio de la cubierta en mil3simas de --
pulgadas.

TENSION MINIMA DE PRUEBA PARA VARIOS
ESPESORES DE LA CUBIERTA

ESPESOR DE CUBIERTA EN PULG.		TENSION DE PRUEBA EN VOLTS.
n/32	MILESIMAS	
--	16	5000
1	31	7000
2	62	9800
3	94	12100
4	125	14000
5	156	15000
6	188	17100
16	500	28000
20	625	31000
24	750	35000

d). Higrómetro

Son auxiliares en la determinación de la humedad relativa del medio ambiente en donde se realiza el recubrimiento.

e). Peine de Ranuras

Es un instrumento que se utiliza para determinar si la adherencia del recubrimiento es buena, se utiliza este tipo de rastrillo o en su defecto, con una navaja se le hace un rayado al recubrimiento en forma cuadriculada. El siguiente paso es pegarle una cinta adhesiva a 45° - respecto al rayado y retirarla, si se desprende más del 20% indica que la adherencia no es buena.

f). Voltímetro.

Es un instrumento comunmente conocido y se utiliza para medir voltaje, la medición de este para el caso de un electrodo de referencia y un tubo es probablemente la determinación más frecuente en trabajos de pruebas de corrosión.

CAPITULO VI

RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS

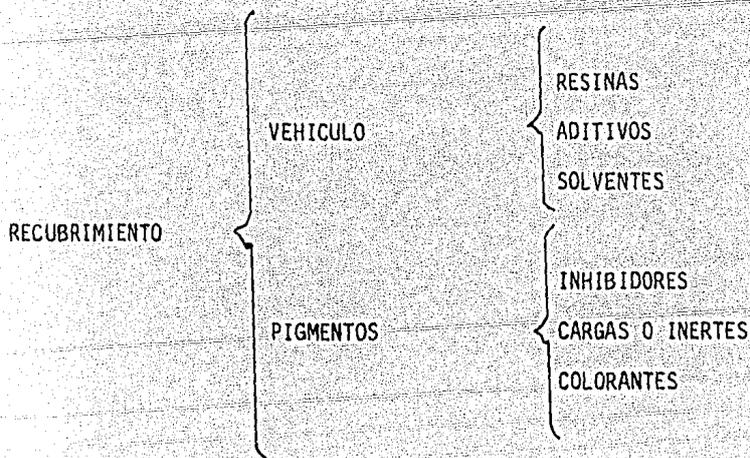
El material de recubrimiento o revestimiento constituyen una barrera física - que impide el acceso de los agentes corrosivos a la superficie metálica básicamente, la protección funciona por uno ó más de tres mecanismos que se indican a continuación:

- 1). El mecanismo de aislamiento o de barrera en donde el material de revestimiento separa físicamente el metal del medio corrosivo. Algunos ejemplos de tales sistemas son los revestimientos del tipo epóxico y los de cinta.
- 2). El mecanismo de inhibición por el cual el recubrimiento cambia el medio al cual se expone el material por medio de una fuente de material de inhibición que vuelve pasiva a la superficie del metal. Algunos ejemplos de tales recubrimientos son los materiales con base de cromato de zinc y de óxido de hierro.
- 3). Los recubrimientos de tipo sacrificial que realmente proporcionan protección catódica al metal por medio de una liberación de los pigmentos metálicos que son anódicos, con respecto al metal. Algunos ejemplos de tales recubrimientos son los de imprimación ricos en zinc orgánico e inorgánico.

Generalmente estos tres tipos de aislamiento del sustrato de medio corrosivo se usan en combinaciones por lo menos dos de ellos, puesto que los revestimientos de inhibición y los sacrificatorios se usan como primario o recubrimiento base, seguido por un revestimiento del tipo de cinta.

En términos generales un recubrimiento anticorrosivo se define como -- una dispersión relativamente estable de un pigmento finamente dividido en una solución de una resina.

Un recubrimiento protector generalmente presenta dos componentes fundamentales, vehículo y pigmento, los cuales a su vez pueden estar constituidos por otros elementos básicos como se describe a continuación:



RESINA.

Son compuestos orgánicos o inorgánicos poliméricos capaces de formar una película continua las hay naturales y sintéticas, su función principal es la de retener o fijar el pigmento, con una buena adherencia a la superficie metálica o capa anterior, formando así una barrera flexible, impermeable y durable a los agentes corrosivos del medio ambiente. Como ejemplo de resinas se tienen las epóxicas, alquílicas, fenólicas y poliamídicas entre otras.

ADITIVOS.

Son compuestos organometálicos o metálicos que se adicionan en pequeñas cantidades, teniendo gran influencia sobre la viscosidad y estabilidad de recubrimiento líquido, así como el poder de nivelación y apariencia de la película ya aplicada, ejemplos de estos aditivos y las propiedades que estos modifican se describen a continuación.

AGENTES SECANTES.

Estos aceleran el proceso de oxidación y polimerización de la resina durante su secado. Estos son los naftenatos, octoatos, talatos de cobalto, plomo, magnesio y calcio.

AGENTES ANTIOXIDANTES

Tienen la finalidad de inhibir o retardar la oxidación superficial del recubri

miento líquido que generalmente se manifiestan como una capa de nata en recipientes abiertos y/o cerrados, la metil etil cetoxima, butiral-dioxima e isomeros amil-fenolados.

AGENTES ESTABILIZADORES DE DISPERSION.

Evitan el asentamiento o separación del pigmento, manteniendo la dispersión durante un tiempo razonable, ejemplos: bentonitas, lecitina, thixina.

AGENTES SURFACTANTES.

Son compuestos orgánicos cuyo objeto es el de facilitar la humectación y dispersión del pigmento sobre el sustrato metálico, ejemplo: ácido oleico, aceites de silicón, de pino estearatos de aluminio y calcio.

SOLVENTES.

Son líquidos orgánicos que se utilizan para disolver las resinas y aditivos, además que permiten tener un medio adecuado para la dispersión de los pigmentos. Los hay del tipo alifáticos y aromático, para su elección debe tomarse en cuenta las propiedades tales como la velocidad de evaporización, poder de disolución, temperatura de ebullición, costo, etc. Como ejemplo de disolventes se pueden citar el benceno, tolueno, metil-isobutil-cetona y alcohol isopropílico.

Generalmente aunque no siempre dos sustancias se dice que son solubles si el valor de su parámetro de solubilidad son similares, como se observa en la siguiente tabla, la resina de silicón no será soluble en ningún solvente enlistado, debido a que sus parámetros de solubilidad no son similares.

RESINAS	PARAMETROS DE SOLUBILIDAD.
Alquidálica	7.0 - 9.5
Vinílica	7.8 - 9.9
Epoxica (Eq. Epóxico 500)	8.9 - 13.13
Aminica	9.5 - 11.00
Acrílica	8.5 - 13.30
Fenólica	7.4 - 9.80
Hule clorado	7.8 - 10.80
Silicón	5.5 - 7.20
SOLVENTES	
Benceno	9.2
Cellosolve	9.9
Orto-xileno	9.0
Tolueno	8.9

PIGMENTOS.

Es un polvo insoluble finamente dividido que puede ser de origen orgánico o inorgánico que se adiciona al vehículo para dar color, mejorar la impermeabilidad y el poder cubriente, como ejemplos de estos pigmentos se tiene:

Inhibidores: Amarillo de zinc, sulfato básico de plomo y cromato básico de zinc. Su función principal es la de formar una capa pasiva de óxido que inhibe a la superficie metálica de las reacciones anódicas.

Colorantes: Azul de Ftalocianina, rojo de toluidina, naranja de molifdato. Su función principal es la de proporcionar principalmente aspecto decorativo al recubrimiento.

Inertes: Silicato de magnesio, la mica, talco, barita y bentonita. Estos proporcionan las siguientes propiedades en los recubrimientos, como son: La de mejorar el mecanismo de refuerzo mecánico, retardar la absorción de humedad, promueve mejor adhesión de películas subsecuentes, sirve para proveer alto contenido de sólidos y mejorar la textura.

Los componentes antes mencionados deberán mezclarse íntimamente en el orden -- adecuado a su formulación para obtener finalmente el recubrimiento protector -- terminado.

CLASIFICACION DE RECUBRIMIENTOS.

Teniendo presente los componentes básicos de los recubrimientos protectores se ve que es posible clasificarlos de acuerdo con el tipo de resina o aglutinante en que se basen. Los pigmentos y la resina proporcionan conjuntamente una excelente resistencia química a la corrosión.

Los aglutinantes o resina más comunes en los revestimientos para el control de la corrosión son los siguientes:

- a). Hules clorados.
- b). Alquílicos ó alcídicos.
- c). Epóxicos.
- d). Bituminosos y asfálticos.
- e). Antivegetativos.

a). Hules Clorados

Este tipo de recubrimiento tiene como base resinas que se obtienen por cloración del hule natural, se dispone de dos tipos principales; una de ellas es una solución de resina de hule clorado plastificado con aditivos clorados y la otra es una mezcla de hule clorado con resinas alquílicas ú otros plastificantes saponificables.

Los recubrimientos de hule clorado tiene tendencia a "enyesarse", especialmente en climas tropicales. Su durabilidad es buena, su resistencia a los ácidos y alcalis es excelente. La resistencia a los aceites y grasas vegetales, derivados del petroleo, disolventes y alcoholes es regular; se disuelven en hidrocarburos aromáticos, ésteres y cetonas.

Su aplicación es con brocha, rodillo o bien con atomizador. Es de secado rápido, como regla general no se puede aplicar con un margen de -

seguridad sobre pintura de aceite o barniz que se secan por oxidación.

Epóxicos.

Consistente de una resina la que se obtiene de una reacción de condensación entre la epíclorhidrina y el bisfenol "A", la resina obtenida se hace reaccionar con ácidos y aceites vegetales para obtener una resina ester; lo que contienen grupos hidróxilos, epóxicos, uniones ester y son derivados de materias primas de la familia fenólica.

Los epóxicos modificados caen dentro de la familia de los ester por estas razones pueden aplicarse a estas resinas una gran variedad de términos por lo que a veces es conveniente especificar con claridad la naturaleza del recubrimiento.

Los recubrimientos epóxicos presentan una buena adherencia al sustrato puesto que en la unión epoxi queda un par de electrones que son susceptibles de combinarse con el metal que se desee recubrir y formar un enlace eléctrico. Como ejemplo particular de este tipo de recubrimiento tenemos: Primario de alquitran de hulla epoxicoamínico y poliamídico.

Primario de Alquitran de Hulla Epoxico Catalizado Tipo A,B.

Generalidades.

Estos recubrimientos consisten de dos primarios compuestos de alquitrán

de hulla, resinas epóxicas, pigmentos inertes y un reactivo químico. Estos deberán de mezclarse inmediatamente antes de su aplicación misma que deberá realizarse en sus primeras 7 horas subsiguientes; a temperatura ambiente.

Características

Tiene un alto contenido de sólidos por volumen y dejará una película - dura resistente al agua salada, agua cruda, petróleo crudo y combustible para inmersión continua a una temperatura máxima de 70°C.

Usos

El producto esta formado para aplicarse sobre superficies metálicas previa limpieza con chorro de abrasivo acabado tipo comercial. Se preferirá el tipo B cuando se requiera mayor flexibilidad.

Acabado

Se usará el mismo producto el que deberá aplicarse entre 4 y 12 horas despues de la primera mano.

Se proporciona en dos envases por separado: un componente epóxico y un reactivo químico componente amínico, para el tipo A o un componente poliámido para el tipo B, en envases de plástico resistentes a estos. La preparación de la mezcla deberá de ser de 19 partes del componente epóxico y de 1 de componente amínico, por volumen para el tipo A y de 4 partes de componente epóxico y 1 de componente poliámido en volumen pa

ra el tipo B.

CARACTERISTICAS Y PRUEBAS FISICAS	MIN.	MAX.	METODO
1. TIEMPO DE SECADO			
Al tacto (horas)	---	4	MP-1-74
Duro (horas)	---	24	"
2. ESTABILIDAD (DE CADA TIPO)			
Envase cerrado (horas)	---	---	---
Almacenamiento (días)	180	---	MP-2-74
3. FLEXIBILIDAD Y ADHERENCIA			
Doblado en mandril cónico	Pasa	---	MP-3-74
Lámina pintada	Pasa	---	MP-4-74
4. INTEMPERIMETRO (WEATHER-O-METER)			
Ciclo 102/18 (min.) duración hrs.	500	---	MP-5-74
5. GABINETE SALINO (horas)			
	500	---	MP-6-74
6. Densidad (gramos por cm ³ .)			
Componente epóxico (equivalente epóxico 230-280)	1.4	1.6	MP-7-74
Coponente amínico o poliamidico	0.90	0.95	"
7. Viscosidad Brookfield LV. componente epóxico (en centipoises)			
	3500	6500	MP-8-74
8. Color (según catálogo)			
	negro	001	-----
9. Finura o fineza (Unidades Hegman).			
	----	----	-----
			#..

CONTINUACION ...

CARACTERISTICAS Y PRUEBAS FISICAS	MIN.	MAX.	METODO
10. RETENIDO EN MALLA U.S. 325 EN %			
Copolente epóxico.	---	5	MP-10-74
11. APARIENCIA Y APLICACION			
(Por aspersión)	Pasa	--	MP-11-74
12. Poder cubriente (M2/Lt.)	----	---	MP-12-74

C O M P O S I C I O N	% EN PESO		METODO
	MIN.	MAX.	
13. CANTIDAD DE PIGMENTO			
Copolente epóxico	---	38	MP-17-74
PIGMENTOS INERTES DE SILICATO			
Sobre pigmento	98	---	MP-45-74
OTROS	---	2.0	-----
Componente aminico o poliamidico.	---	0	-----
14. VEHICULO	62	0	-----
Componente epóxico, resinas epóxicas con equivalente epóxico 230-280 sobre vehículo	29	---	MP-41-74
Alquitrán de Hulla, sobre Vehículo.	38	---	-----
Solventes	---	33	-----
Componente aminico o poliaminico.	100	---	-----

#..

CONTINUACION ...

COMPOSICION	% EN PESO		METODO
	MIN.	MAX.	
Resina aminica (dietilen-triamina como base), Resina poliamidica (valor aminico 230-246) sobre vehiculo.	57	---	MP-42-74
Solventes	---	43	MP-32-74
15. Agua libre	---	0.5	MP-33-74
16. Compatibilidad	Pasa	----	MP-15-74

PRUEBAS QUIMICAS: MP-16-74	TEMPERATURA	TIEMPO
Reactivo		
Crudo	48°C	30 Días
Agua destilada	60°C	30 Días
Acido sulfúrico 30% (solución)	Ambiente	30 Días
Agua al 3% de NaCl	Ambiente	30 Días

Las pruebas químicas se efectuarán después de 7 días de -- aplicado el recubrimiento.

Al término de las pruebas y después de 2 horas de recuperación, el recubrimiento no debe mostrar ablamiento, ampollamiento, agrietamiento o pérdida de adhesión.

Inorgánicos.

Se han desarrollado muchos recubrimientos inorgánicos con cargas de zinc obteniéndose buenas referencias de comportamiento en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo el marino e industrial, considerando como uno de los más drásticos. Entre los más comunes se tiene:

El Primario de Zn, 100% Inorgánico tipo Poscurado.

Generalidades.

Este recubrimiento se refiere a un primario 100 por ciento inorgánico de zinc cuyo "cura" o insolubilización se efectúa por medio de una solución curadora ácida aplicada inmediatamente de haber efectuado el recubrimiento.

Características

Es sumamente duro y resistente a la abrasión, a los ambientes: húmedo, salino, marino, a los destilados tratados y a los aromáticos, con excepción de hidrocarburos clorados en presencia de humedad.

Usos

Se usará sobre superficies metálicas de hierro o acero limpiadas con chorro de abrasivo a metal blanco; se puede usar solo sin acabado y como primario de un sistema dependiendo de las condiciones ambientales. Si se emplea solo, no se recomienda para inmersión en soluciones acuosas sin complementarlo con protección catódica.

Aplicación

En lugares bien ventilados y por aspersión.

No deberá usarse adelgazador y el equipo empleado deberá contar con agitación.

Deberá de aplicarse cuando en el ambiente se tenga hasta 60% de humedad relativa como máximo y al menos ésta se conserva durante las primeras 6 horas después de aplicado el recubrimiento.

Acabado.

Se puede usar los siguientes acabados: epóxico catalizado, epóxico de altos sólidos, vinílico altos sólidos y vinil acrílico. Estos dos últimos previa aplicación de vinil epóxico modificado. (28)

Este producto está formado por tres componentes envasados por separado:

Componente 1. Pigmento (polvo de Zn).

Componente 2. Vehículo.

Componente 3. Solución curadora (deberá ser proporcionado en envase de plástico).

El recubrimiento consistirá de una mezcla de polvo fino de Zn, y minio y un vehículo de silicato inorgánico envasados por separado. El polvo y líquido contenidos en sus envases en las cantidades adecuadas formarán al ser mezcla-

dos, el recubrimiento listo para su uso. La solución ácida curadora, componente 3, contendrá un colorante fugaz a la luz, que desaparecerá al cabo de 30 minutos de exposición a los rayos directos del sol y se aplicará entre 2 y 4 horas después del recubrimiento, a las 24 horas de haber aplicado la solución curadora se deberá lavar perfectamente la superficie con agua dulce y -- con cepillo de raiz.

CARACTERISTICAS Y PRUEBAS FISICAS.			
	MIN.	MAX.	METODO
1.	TIEMPO DE SECADO		
			Al tacto (horas)
	----	2	MP-1-74
			Duro (horas)
	----	4	"
2.	ESTABILIDAD (DE CADA TIPO)		
			Almacenamiento (días)
	365	----	MP-2-74
3.	FLEXIBILIDAD Y ADHERENCIA		
			Doblado en Mandril Cónico
	----	----	Lámina pintada
	PASA	----	MP-4-74
4.	INTEMPERIMETRO (WEATHER-O-METER).		
			Ciclo 102/18 (min) duración horas.
	700	----	MP-5-74
5.	GABINETE SALINO (HORAS)		
	600	----	MP-6-74
6.	DENSIDAD (GRAMOS POR CENTI METRO CUBICO)		
	3.1	3.5	MP-7-74
7.	VISCOSIDAD DE LA MEZCLA, CO PA FORD No. 4 (Seg.)		
	18	30	MP-8-74
8.	COLOR		
	---	---	-----
9.	FINURA O FINEZA (UNIDADES - HEGMAN)		
	1	3	MP-9-74
10.	RETENIDO EN MALLA U.S. 325 EN %.		
	---	2	MP-10-74
11.	APARIENCIA Y APLICACION (POR ASPERSION).		
	PASA	---	MP-11-74
12.	PODER CUBRIENTE (M2/Lt).		
	25	---	MP-12-74
13.	CURADO		
	PASA	---	MP-13-74

COMPOSICION		% EN PESO MIN.	MAX.	METODO
<u>COMPONENTE 1 (ENVASADO POR SEPARADO).</u>				
14.	CANTIDAD DE PIGMENTO	77.0	78.0	MP-17-74
	Polvo de Zinc (96% de pureza como Zinc).	86.5	87.0	MP-29-74
15.	<u>VEHICULO COMPONENTE 2.</u>			
	Silicato de sodio (densidad 1.26-1.28)	22.0	23.0	-----
	Silicato de Sodio, Sobre Vehiculo.	27.0	----	MP-45-74
	Materia volátil, sobre Vehiculo.	----	73	MP-32-74
	Brea o derivados.	----	0	MP-34-74
16.	Agua libre.	----	16.0	MP-33-74
17.	Compatibilidad.	PASA	----	MP-15-74
<u>COMPONENTE 3 (SOLUCION CURADORA).</u>				
	Acido fosfórico (Comercial - al 85%)	30	----	MP-44-74
	Otros Aditivos.	---	70	-----
	Densidad: 0.91 a 1.1			

PRUEBAS QUIMICAS MP-15-74	TEMPERATURA	TIEMPO
---------------------------	-------------	--------

REACTIVO.

Agua Dulce	20°C	30 Días
Agua de Mar	26°C	30 Días
Metil Isobutil Cetona.	20°C	30 Días
Tolueno	20°C	30 Días
Acetato de Etilo	20°C	30 Días
Gasolina Dulce	20°C	30 Días

Las pruebas químicas se efectuarán después de 48 horas de curado el recubrimiento, método MP-13-74.

Al término de las pruebas y después de 2 horas de recuperación, el recubrimiento no debe mostrar ablandamiento, ampollamiento, agrietamiento o pérdida de adhesión.

El Primario de Zinc 100% Autocurante

Base Acuosa.

Denominación.

Primario de Zinc 100% inorgánico tipo autocurante, base acuosa.

Generalidades.

Esta especificación se refiere a un primario 100% inorgánico de zinc cuyo curado o insolubilización se obtiene por sí mismo sin requerir de ninguna solución que se aplique posteriormente.

Características.

Es sumamente duro y resistente a la abrasión, con excelente resistencia a la mayoría de los solventes con excepción de hidrocarburos clorados en presencia de humedad, a los ambientes húmedos, salino y marino. Se considera que la vida de este recubrimiento es menor que la del poscurado, sin embargo, se recomienda para instalaciones expuestas a un alto porcentaje de humedad, salpicaduras y brisa marina al aplicarse.

Usos.

Este primario deberá aplicarse sobre superficies metálicas de hierro o acero limpiadas previamente con chorro abrasivo a metal blanco. Se usa como primario de un sistema dependiendo de las condiciones ambientales. Si se emplea

solo, no se recomienda para inmersión en soluciones acuosas sin complementarlo con protección catódica.

Aplicación.

En lugares bien ventilados y por aspersión.

No deberá usarse adelgazador y el equipo empleado deberá contar con agitación. Deberá aplicarse cuando en el ambiente se tenga de 60 a 80% de humedad relativa y al menos esta deberá de conservarse durante las primeras 6 horas después de aplicado el recubrimiento.

Acabado

Se pueden usar los siguientes acabados: Epóxico catalizado, epóxico de altos sólidos, vinílicos altos sólidos y vini-acrílico, estos dos últimos previa aplicación de vinil epóxico modificado. (28)

Este primario consistirá de una mezcla de polvo fino de zinc y minio y un vehículo de silicato inorgánico cuyas propiedades para el autocurado están incluidas en dichos componentes, envasados por separado. Las cantidades adecuadas de pigmento y vehículo contenidas en los envases, al mezclarse formarán el primario listo para su uso. Se deberá tener cuidado de no utilizar el vehículo del tipo B.

A las 24 horas después de aplicado el recubrimiento se deberá lavar perfectamente a la superficie con agua dulce, limpiando con cepillo de raíz.

CARACTERISTICAS Y PRUEBAS FISICAS
(DEL MATERIAL MEZCLADO)

	MIN.	MAX.	METODO
1. Tiempo de Secado			
Al tacto (horas)	---	2	MP-1-74
Duro (horas)	---	4	MP-1-74
2. Estabilidad (de cada tipo)			
Almacenamiento (días)	365	---	MP-2-74
3. Flexibilidad y Adherencia			
Doblado en mandril cónico	---	---	-----
Lámina pintada	Pasa	---	MP-4-74
4. Intemperímetro (Weather-O-Meter)			
Ciclo 102/18 (min.) duración -- horas.	700	---	MP-5-74
5. Gabinete salino (horas)	500	---	MP-6-74
6. Densidad (gramos por centímetro cúbico)	3.3	3.7	MP-7-74
7. Viscosidad Copa Ford No. 4 (seg)	1	30	MP-8-74
8. Color	---	---	-----
9. Finura o fineza (unidades Hegman)	1	3	MP-9-74
10. Retenido en malla U.S. 325 en %	---	2	MP-10-74
11. Apariencia y aplicación (por aspersión)	Pasa	---	MP-11-74
12. Poder cubriente (M2/Lt.)	25	---	MP-12-74
13. Curado	Pasa	---	MP-13-74

C O M P O S I C I O N % EN PESO

	MIN.	MAX.	METODO
14. Cantidad de pigmento	79.5	80.2	MP-17-74
Polvo de zinc (96% de pureza como zinc)	86.5	87.0	MP-29-74
Minio (Pb ₃ O ₄), 97% de pureza	13.0	13.5	MP-28-74
15. Vehículo Silicato Inorgánico	19.8	20.5	-----

#.

C O M P O S I C I O N		%	EN PESO	METODO
		MIN.	MAX.	
	Silicato inorgánico, sobre vehículo.	36.0	---	MP-45-74
	Otros aditivos sobre vehículo	----	64.0	-----
	Brea o derivados.	----	0	MP-34-74
16.	Agua libre	----	16.0	MP-33-74
17.	Compatibilidad	Pasa	----	MP-15-74
PRUEBAS QUIMICAS: MP-16-74		TEMPERATURA		TIEMPO
	Reactivo			
	Agua dulce	20°C	30 Días	

Las pruebas químicas se efectuarán después de 48 horas de curado el recubrimiento, Método MP-13-74. Al término de las pruebas y después de 2 horas de recuperación, el recubrimiento no debe mostrar ablandamiento, ampollamiento, agrietamiento o pérdida de adhesión.

En resumen, las propiedades más importantes de los recubrimientos inorgánicos del zinc, son:

Proveen una protección catódica efectiva. La matriz inorgánica es conductora y permite que el zinc actúe en forma controlada - protegiendo cualquier ruptura que pueda ocurrir con el recubrimiento de la formación de herrumbre. Eventualmente éstas imperfecciones o raspaduras se sellan por la formación de iones zinc (carbonato de zinc) como resultantes de la reacción.

El recubrimiento no es afectado por el intemperismo, luz solar, lluvia, ~~con-~~densación, luz ultravioleta, cambios amplios de temperaturas, bacterias y hongos. Como no se calea o se disipa por sí mismo como sucede con los recubrimientos orgánicos, la película del inorgánico permanece intacto y con el mismo espesor durante muchos años a la intemperie.

El atador inorgánico reacciona químicamente con el acero en la misma forma como reacciona con el polvo de zinc para formar un silicato insoluble de zinc. Estas reacciones ocurren en la interfase mono-molecular del acero y el silicato formando una unión química permanente.

La fuerte adherencia a superficies de acero y la característica de dureza de la película del recubrimiento inorgánico forman una base que ha probado tener excelente resistencia a la abrasión por lo que pueden aplicarse como recubrimientos en superficies que tienen fricción entre sí, como las secciones de acero estructural que se unen en la construcción de edificios, puentes, torres, etc.

El calor aún a temperaturas de 450°C, tienen poco efecto en los recubrimientos inorgánicos de zinc. Esta temperatura esta por arriba del punto de fusión del zinc y sin embargo el recubrimiento permanece intacto dando mayor protección.

No son afectados por la mayoría de los disolventes orgánicos incluyendo los muy fuertes como acetonas, hidrocarburos clorados, aromáticos, etc. No son

afectados por productos derivados del petróleo como la gasolina, diesel y aceites lubricantes.

No se encogen al secarse o al curarse como sucede con los orgánicos, humectan bien la superficie; por estas dos características, siguen completamente la configuración de las superficies (ásperas, rugosas o altamente corroídas) sobre las cuales se aplican.

En virtud de las características anteriores, tanto la resistencia química como física, los inorgánicos de zinc tienen una amplia aceptación para la protección de superficies metálicas en la industria marina, petroquímica, eléctrica y siderúrgica por su buen comportamiento a largo plazo y sus bajos costos anuales de mantenimiento.

RECUBRIMIENTO ANTIVEGETATIVOS.

Es un recubrimiento desarrollado para prevenir el crecimiento de organismos marinos en superficies sumergibles por largos periodos, en su formulación se incluyen resinas vinílicas, brea y un pigmento tóxico de óxido de cobre, que permiten una acción de inhibición. Este recubrimiento debe aplicarse pausadamente en cantidad suficiente para inhibir el crecimiento de organismos marinos. Además, debe considerarse que la película antivegetativa no puede ser usada con seguridad directamente sobre la superficie de acero o de aluminio a causa de la relación galvánica desfavorable entre estos metales y el tóxico empleado; por lo que se requerirá una intercapa no conducto

ra entre el metal y el recubrimiento antivegetativo.

En caso de ignorarse esta situación puede resultar una rápida picadura sobre la superficie que se desea proteger.

Las tablas que a continuación se presentan describen las características de los sistemas para cada condición de exposición, así como también se incluyen los requisitos de preparación de la superficie, tipo de primario y acabado, - número de manos y espesor en Mils (milésimas de pulgadas) de película seca de cada uno de ellos, así como del sistema de aplicación recomendado.

Condición de Exposición	Preparación de la Superficie	PRIMARIO			ACABADO			Aplicación	Observaciones
		Recubrimiento	No. de capas	Espesor en mils. por capa (seca)	Recubrimiento	No. de capas	Espesor en mils. por capa (seca)		
Ambiente seco	L. M.	RP-1 Minio Alquídicó	2	1.5	RA-20 Esmalte alquídicó	2	1.5	Brocho o Aspersión	Sin acabado el minio alquídicó se usa como mano de taller
Ambiente húmedo	L. M. o L. Ch. A. Com. L. Ch. A. M. B.	RP-2 Cromato de zinc.	2	1.5	RA-20 Esmalte alquídicó	2	1.5	Aspersión	El inorgánico de zinc, autocurante tipo B se empleará cuando se tenga más del 70% de humedad relativa durante la aplicación y secado.
		RP-3 Inorgánico de zinc, poscurado	1	2-3	RA-21 Epóxico catalizado	2	1.5		
Ambiente húmedo y salino	L. Ch. A. M. B.	RP-4 Inorgánico de zinc, Autocurante	1	2-3	RA-22 Vinílico altos sólidos	2	3	Aspersión	Idem RP-4B
		A Base agua	1	2-3	RA-26 Epóxico altos sólidos	2	5		
		B Base solvente	1	2-3					
Ambiente húmedo con o sin salinidad y gases derivados del azufre.	L. Ch. A. M. B.	RP-3 Inorg. zinc, poscurado	1	2-3	RA-21 Epóxico catalizado	2	2	Aspersión	Idem RP-4B
		RP-4A Inorg. zinc, auto b.a.	1	2-3	RA-22 Vinílico altos sólidos	2	3		
		RP-4B Inorg. zinc, auto b.a	1	2-3	RA-26 Epóxico altos sólidos	2	5		
Ambiente marino	L. Ch. A. M. B.	RP-6 Epóxico catalizado	1	2	RA-21 Epóxico catalizado	2	2	Aspersión	Idem RP-4B
		RP-3 Inorg zinc poscurado	1	2-3	RA-22 Vinílico altos sólidos	2	3		
		RP-4A Inorg zinc auto b.a.	1	2-3	RA-26 Epóxico altos sólidos	2	5		
Exposición al agua salada (interior de tanques)	L. Ch. A. com.	RP-5A Alquitran de hulla epóxico	2	6-8	No se usa		Aspersión	Detector continuidad eléctrica	
Exposición al agua cruda y tratada (interior de tanques)	L. Ch. A. com.	RP-5A Alquitran de hulla epóxico	2	6-8	No se usa		Aspersión	Detector continuidad eléctrica	
Exposición al agua potable (interior de tanque de almacenamiento)	L. Ch. A. com.	RP-7 Vinil epóxico Modif.	2	1	RA-22 Vinílico altos sólidos	2	3	Aspersión	Detector continuidad eléctrica
		RP-6 Epóxico catalizado	1	2	RA-26 Epóxico altos sólidos	2	5		
Exposición a la turbosina	L. Ch. A. M. B.	RP-8 Epóxico para turbosina	1	2	RA-23 Epóxico para turbosina	1	5	Aspersión	Detector continuidad eléctrica
Exposición a destilados tratados	L. Ch. A. M. B.	RP-3 Inorgánico de zinc poscurado	1	2-3	No se usa		Aspersión	Se emplea también en tanques aromáticos y alifáticos	

SISTEMAS RECOMENDADOS PARA CADA TIPO DE EXPOSICION

Condición de Exposición	Preparación de la Superficie	PRIMARIO		ACABADO		Aplicación	Observaciones		
		Recubrimiento	No. de capas	Esesor en mils por capa (seca)	Recubrimiento			No. de capas	Esesor en mils por capa (seca)
Exposición a destilados sin tratar	L.Ch. A. Com.	RP-6 Epóxico catalizado	1	2	RA-26 Epoxico de altos sólidos	2	5	Aspersión	Detectar continuidad eléctrica
Exterior de embarcaciones. Fondo	L. Ch. A. Com.	RP-5B Alquitrán de epóxico	2	6-8	RE-31A o B antivegetativo	2	2	Aspersión	La prueba de adherencia se hará con el sistema completo.
De mínima línea de carga a traza de cinta de cubierta	L.Ch. A.M.B.	RP-3 Inorg. zinc pascurado	1	2-3	RP-7 (Enlace) y RA-25 Vinil-Acrylic	1	1.5-2		
Cubierta	L.Ch. A.M.B.	RP-4A o B Inorg. zinc auto-curante	1	2-3	RP-7 (Enlace) y RA-22 Vinilico altos solidos	1	1.5-2		
	L.Ch. A.M.B.	RP-4A o B Inorg. zinc auto-curante	1	2-3	RP-7 (Enlace) y RA-25 Vinil-acrylic	1	1.5-2		
Interior de tanque de embarcaciones	L.Ch. A.C.M.B.	RP-6 Epoxico catalizado	1	2	RA-26 Epóxico altos sólidos	2	5	Aspersión	Detectar continuidad eléctrica No se use para aromáticos
Interior de tanques para crudo	L. Ch. A. Com.	RP-5A Alquitrán de hulla epoxico			No se usa			Aspersión	Detectar continuidad eléctrica
Exposición a alta temperatura	L. Manual	RE-30A (Aluminio)	2	1.5	No se uso			Brocha o Aspersión	A) de 80°C a 260°C
	L. Ch. A.M.B.	RE-30B (Silicones)	2	1.5					B) de 261°C a 560°C
Zonas propicias al desarrollo de organismos					RE-31A Vinilica y óxido cuproso	2	2	Aspersión	Apliquese sobre superficies secas
					RE-31B Vinilica y tóxicos organometalico	2	2		
Zonas de mareas y oleajes	L. M. o L.Ch. A. Com.	RE-32 Epóxico para zona de mareas y oleajes	1	100 (100% solidos)	No se usa			Manual	
Exterior de tambores de 200 litros	L.M. y/o L.S.				para tambores	1	2	Aspersión	No se usa acabado

Clave: L.M.: Limpieza manual.

L.S.: Limpieza con solventes

L.Ch.A.Com.: Limpieza chorro de abrasivos acabado comercial.

L.Ch.A.C.M.B.: Limpieza chorro de abrasivos acabado cerca metal blanco.

Ch. A.M.B.: Limpieza chorro de abrasivos acabado a metal blanco.

Como sistema de protección para el recubrimiento anticorrosivo en los sistemas de transporte submarino, se recomienda un recubrimiento adicional de concreto que servirá además como sistema de lastre para mantener sumergida a la tubería, con los siguientes tipos de material para el lastre.

- a). C.01 Concreto de peso normal, mínimo de 2250 kg/m³. elaborado con cemento portland, arena, grava y agua.
- b). C.01 Mortero fabricado con cemento portland y arena pétreo con peso volumétrico mínimo de 2250 kg/m³.
- c). C.01 Mortero fabricado con cemento portland, arena pétreo y finos de mineral de hierro, con peso volumétrico mínimo de 3000 kg/m³.
- d). C.01 Mortero fabricado con cemento portland y finos de barita o baritina, con peso volumétrico mínimo de 2600 kg/m³.

De acuerdo con los tipos de material citados, las mezclas se proporcionarán de acuerdo con los valores aproximados de la tabla No. 5.

TABLA No. 5
 PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS PARA
 RECUBRIR TUBERIAS DE CONDUCCION

TIPO DE - MORTERO O CONCRETO.	CEMENTO		ARENA		GRAVA		AGUA		BARITA		MINERAL - DE HIERRO	
	KG.	LTS.	KG.	LTS.	KG.	LTS.	KG.	LTS.	KG.	LTS.	KG.	LTS.
a.c.01	400	266	700	437	1100	742	200	200				
b.c.01	550	367	1460	912			250	250				
c.c.01	450	300	1130	705			225	225			1350	360
d.c.01	450	300	1050	655			225	225	880	352		

La tabla se calculó con valores medios del peso específico y del peso volumétrico de los materiales.

El revestimiento del concreto estará comprendido entre 8 y 14 cms. debiendo de terminarse su valor en cada caso de acuerdo con las características de los --- agregados y los detalles del proyecto.

Para un valor del revestimiento fijado en la obra, se tendrá una tolerancia de ± 2.0 cm. La comprobación del revestimiento se efectuará siempre que se considere necesario.

El tamaño máximo del agregado grueso, cuando se use concreto normal, será el siguiente:

ESPEJOR DEL LASTRE CM.	TAMAÑO MAXIMO - DE AGREGADO MM.
Hasta 5	6.3
De 5 a 7	9.5
De 7 a 10	12.7

La resistencia del mortero o el concreto será de 300 Kg/cm². a los 28 días de edad para tuberías submarinas, y de 250 kg/cm². para los demás casos. Se analizará el agua en la que estará sumergida la tubería para determinar el contenido de sulfatos o de otras sustancias que ataquen el concreto, en cuyo caso se usará cemento tipo V o los aditivos que garanticen la durabilidad del concreto.

El acero de refuerzo será una malla de alambre con las siguientes características:

ESPEJOR DEL CONCRETO Cm	CALIBRE DEL ALAMBRE	SEPARACION DE LOS ALAMBRES Cm.
Hasta 5	17	3.8 x 3.8 hexagonal.
De 5 a 7	16	7.6 x 7.6 cuadrado.
De 7 a 10	14	7.6 x 7.6 cuadrado.

Requisitos de Ejecución.

Antes de colocar el acero de refuerzo, se verificará que el recubrimiento anticorrosivo del tubo este limpio de aceites, grasas o materias extrañas, roturas o golpes que afecten la conservación del mismo. Durante la colocación -- del refuerzo se tendrán las debidas precauciones para no dañar el recubrimien to anticorrosivo del tubo; en el caso de provocar algún daño, éste deberá ser raspado a satisfacción del supervisor antes de colocar el concreto.

La primera capa deberá localizarse a una distancia de 25.4 mm. \pm 6 mm. de recubrimiento anticorrosivo. La segunda capa de malla de refuerzo se localizará, a una distancia de 12.7 mm. \pm 6 mm. de la superficie exterior del concreto. Bajo ninguna circunstancia la malla debe salir sobre la superficie del - concreto ni estar en contacto con el recubrimiento anticorrosivo de la tube-- ría.

El traslape entre los tramos de malla será de un cuadro de la misma.

La colocación del concreto podrá hacerse por dos procedimientos:

a). A mano usando cimbra.

Se aceptará este método cuando el lastrado pueda efectuarse en las cercanías del lugar de colocación de la tuberfa, reduciéndose el costo de acarreo de los tubos lastrados en tales casos la mezcla se compactará aplicando un vibrado a la cimbra.

b). La operación de colocar el concreto alrededor del tubo será continua, - no permitiéndose interrupciones de más de 30 minutos.

La colocación se hará dentro de los 30 minutos siguientes a la incorporación del agua a la mezcla. No se recubrirán de concreto los extremos del tubo en una longitud de 30 cms.

Los extremos de revestimiento de concreto deberán tener un bisel menor a 60 grados, para permitir efectuar la soldadura en campo de las juntas.

Al menos que en las especificaciones particulares se indique otra cosa, en las tuberías marinas se deberán recubrir las juntas después de soldarse, con el mismo material y con el mismo espesor empleado en el resto de la tubería.

El revestimiento de concreto en los tramos de tubería con ánodos, será aplicado después de la instalación de estos y de las reparaciones necesarias al revestimiento anticorrosivo o de fricción, por la instalación de los ánodos. La superficie de los ánodos deberá estar libre de salpicaduras de concreto.

Curado.

El concreto será curado por cualquiera de los procedimientos siguientes para - evitar que el concreto se deshidrate.

a). Curado con agua.

Deberá iniciarse dentro de las dos horas siguientes a la colocación del concreto manteniéndolo húmedo durante un período de cuatro días. (Los métodos de curado con agua están descritos en la Norma 3.112.01 de Pemex).

b). Curado con Membrana

Se usará de preferencia membrana con pigmento blanco, la que se aplicará con medio mecánico en cantidad suficiente para cubrir de manera uniforme y completa la superficie de concreto. La aplicación de la membrana se hará inmediatamente después de que se termine de colocar el concreto y desaparezca el brillo propio de la película de agua superficial, pero cuando la superficie no haya comenzado a perder humedad.

Reparaciones.

Los aplastamientos o grietas en el concreto causados por impactos, se aceptarán sin reparación siempre que no hayan dañado más de la tercera parte del espesor y en una superficie no mayor de 0.10 M². y que además, el refuerzo no haya quedado expuesto.

Para superficies con daños de hasta 0.25 M². aproximadamente se repararán empleando el mismo tipo de mezcla del concreto original, retirando todo el concreto de la zona dañada, hasta llegar a la superficie del recubrimiento anticorrosivo del tubo. En el caso de superficies dañadas mayores de 0.25 M²., se retirará todo el concreto alrededor del tubo en el ancho de la zona dañada, y

se recubrirá de nuevo.

En cualquier caso, antes de colocar la mezcla se retirarán las partículas sueltas, rajadas o quebradas del concreto, se repondrá el acero de refuerzo hasta quedar en su posición original se lavará la zona de preferencia con agua a presión, y se mantendrá húmeda hasta el momento de colocar la mezcla. Las grietas en el concreto debidas a flexiones del tubo durante su manejo, que tengan 2 mm. de ancho y se extiendan cuando menos hasta la mitad de la circunferencia del tubo, serán reparadas ampliando la grieta con un cincel hasta 2 cm. de ancho, rellenándola con mortero cemento arena que pase la malla 1:3, de consistencia seca, empleando arena que pase la malla No. 16 (1.2 mm.). El mortero colocado se compactará con pisón de madera y se curará con agua.

El transporte con equipo de carga de un tubo recubierto deberá hacerse suspendiéndose por medio de ganchos insertados en las bocas de los extremos, no deberán suspenderse o maniobrarse antes de 24 horas (7 horas si se usa cemento de fraguado rápido), después de terminar la colocación del concreto. Después de 3 días de recubiertos los tubos (24 horas si se usa cemento de fraguado rápido) se podrán estibar en capas de no más de 4 tubos si estos son de 381.0 mm. de diámetro o mayores, colocando la primera capa sobre una plantilla de arena o tierra nivelada y suelta, sin protuberancias o hundimientos, no deberán rodarse sobre piso duro o disparejo.

Tolerancias:

Espesor de concreto.	±	10%
Densidad del concreto.	-	5%

El espesor del recubrimiento deberá ser tal que se tenga lo siguiente:

$$P \geq P_1 R$$

En Donde:

P = Peso unitario del tubo recubierto de concreto.

P₁ = Empuje ascendente unitario del agua, calculado de acuerdo con la densidad del líquido desalojado.

R = Coeficiente que depende de las condiciones del lugar en donde se localice la tubería.

Valores de R.

Lagunas, Zonas Inundables.

Pantanos -----	1.15
Arroyos -----	1.20
Rfos -----	1.30
En el Mar -----	1.35

El peso de la tubería revestida debe comprobarse usando el método siguiente: Después de curado el concreto debe pesarse cada tramo de tubería en aire, en báscula con una precisión certificada de 1%. La longitud de cada tramo debe medirse con aproximación de 0.3 cm. El peso real obtenido debe compararse -- con el peso solicitado y no de variar más de 1.9%.

La absorción del agua debe de determinarse a partir del concreto endurecido y curado que tenga 4 ó más días de edad y sea tomado de la mezcla de revesti--- miento, tal como se aplica en las operaciones normales de revestimiento. De- be tomarse un cilindro en cada mañana y uno en cada tarde de producción, para usarse en esta prueba.

Una muestra debe secarse en horno a una temperatura de 99°C, hasta llegar al peso constante, debe dejarse enfriar a temperatura ambiente y entonces pesar- se con aproximación de 1 gramo.

La muestra debe sumergirse en agua a temperatura ambiente, al menos por 24 ho- ras. El volumen de la muestra, será determinado por el volumen de agua des- plazada.

Después de saturada la muestra, debe quitársele el exceso de humedad superfi- cial y pesarse.

Para una longitud dada de tubería el peso del agua de mar absorbida esta dada por: (W).

$$W = \frac{V_c (W_{sat} - W_{cs})}{V_s} \quad 64/62.4 \quad \text{Kg/M.}$$

Donde:

V_c = Volumen de concreto por mt. de longitud de tubería M3/M.

W_{sat} = Peso de la muestra de concreto saturada. Kg.

W_{CS} = Peso de la muestra de concreto inmediatamente después del secado Kg.

V_s = Volumen de la muestra de concreto usado en la prueba de saturación. M3.

Relación de 64/62.4 es corrección por densidades del agua.

CAPITULO VII

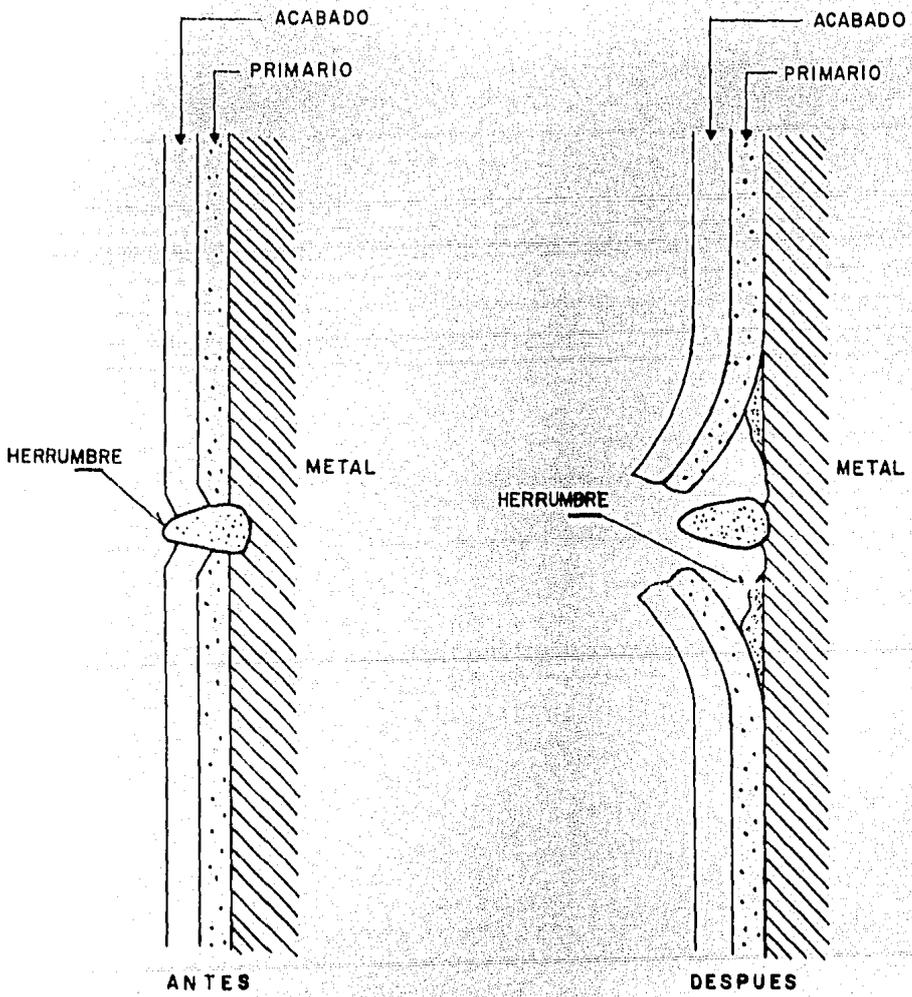
PREPARACION DE LA SUPERFICIE DEL GASODUCTO

PARA LA APLICACION DEL RECUBRIMIENTO

Uno de los factores más importantes en la protección anticorrosiva de una -- instalación utilizando recubrimientos, es la correcta limpieza o preparación de la superficie. Si la superficie por recubrir está contaminada con aceite, humedad, suciedad, polvo, herrumbre, escamas de laminación o cualquier otro - material suelto, el recubrimiento no podrá adherirse firmemente y su eficiencia de protección será nula, debido a la presencia de estos contaminantes, -- los que producen la ruptura de la película, ocasionando el ampollamiento y la corrosión del material bajo la película según se muestra en la Fig. 7.1

Preparación de Superficie en Acero.

El acero es el material de construcción más ampliamente utilizado en la fabri- cación de equipos e instalaciones. Desde el punto de vista de preparación de superficies los principales contaminantes están representados, además de la - grasa, aceite, suciedad por la escoria, escama de laminación y el herrumbre - inicialmente, tanto la escoria como las escamas pueden estar firmemente adhi- das, no obstante, por efectos de dilatación y contracción térmica del mate--- rial, estas impurezas tienden a desprenderse por lo que cualquier recubrimien- to que se aplique sobre ella sufrirá el mismo efecto; por otra parte estas imp- purezas incluyendo el herrumbre son más nobles en la serie galvánica, por lo que actuarán como cátodos, en presencia de humedad aceleran la corrosión del



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTILAN
AMPOLLAMIENTO OCACIONADO POR CORROSION EN EL RECUBRIMIENTO.	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG. No. 7.1

acero.

La preparación de superficies de acero se reduce a cuatro métodos fundamentalmente que son:

- a). Limpieza manual.
- b). Limpieza química.
- c). Limpieza con solventes.
- d). Limpieza con abrasivos.

Limpieza Manual.

Este método de preparación de superficie considera el uso de herramientas neumáticas y eléctricas tales como cepillos rotatorios de cerdas de alambre, esmeriles, lijadoras y herramientas de impacto, así como de herramientas manuales del tipo, cepillos de alambre, raspadores, cinceles, martillos especiales.

Por su rapidez y eficiencia las herramientas neumáticas deberán de preferirse en áreas grandes y las manuales en áreas pequeñas o poco accesibles. No obstante, frecuentemente se utilizan una combinación de estos dos tipos de herramientas.

La secuencia de la preparación de superficie por este método depende de cada caso en particular.

Las lijadoras metálicas dejan superficies más ásperas pero su alto costo limita su uso a pequeñas áreas tales como soldaduras bordes afilados y restos de pintura vieja firmemente adherida.

Una vez obtenido un grado de limpieza aceptable, la superficie deberá lavarse con un solvente apropiado a fin de eliminar restos de grasa, aceite y polvo.

Los solventes más comunmente empleados son los siguientes:

S O L V E N T E .	MAX. CONCENTRACION PERMISIBLE ppm. EN VOLUMEN.
Naftas de petroleo	200
Tolueno (Toluol)	200
Tricloroetileno	100
Percloroetileno	100
Xileno (xilol)	200
Turpentina	100
Metil isobutilcetona	50

Este procedimiento de preparación de superficie deberá de limitarse a aquellos casos en los cuales el medio corrosivo esta representado por ambientes húmedos o secos sin salinidad y gases corrosivos, tampoco se recomienda en inmersión continua.

Limpieza Química

Este procedimiento considera el uso de mezclas o soluciones comerciales capaces de producir por separado, primeramente una acción de detergente capaz de eliminar restos de grasa y aceite y en segundo lugar tener la capacidad suficiente para disolver escamas, escoria y restos de óxido, a fin de dejar la superficie libre de cualquier contaminante.

Por este método se procede de la siguiente manera:

- 1). Eliminación de capas gruesas de escoria, escama, grasa y contaminantes, siguiendo un procedimiento similar al de la limpieza manual.
- 2). Aplicación con brocha o aspersión de la solución del producto químico seleccionado, dejándolo sobre la superficie el tiempo de contacto suficiente.
- 3). Lavado con agua dulce hasta eliminar todos los residuos.

Si la superficie está muy contaminada o presenta un ataque severo de corrosión, será necesario repetir la operación de limpieza varias veces.

La longitud y la baja eficiencia de este método de preparación de superficie no la hacen muy recomendable y con frecuencia se tiene bajos niveles de adherencia.

En resumen, la preparación de superficie con chorro de arena constituye el método más eficiente para el caso del acero estructural y solamente en aquellos casos que resulte impráctico ó incoesteable podrán utilizarse la limpieza manual o la química, preferentemente la manual.

Limpieza con Chorro de Arena.

Este método cae dentro de la limpieza con abrasivo, siendo el más eficaz en la preparación de superficie de acero, dado que además de eliminar eficientemente la suciedad, herrumbre, escamas, escorias y otros contaminantes, proporciona -- una superficie áspera de color gris uniforme, excelente para promover una buena adherencia del recubrimiento.

Dependiendo del tipo de recubrimiento a utilizar, en la práctica se utiliza -- tres grados de limpieza con chorro de arena.

I.a Limpieza a Metal Blanco.

Se obtiene una superficie gris claro uniforme eliminando totalmente -- cualquier contaminante de los ya mencionados.

I.b Limpieza Comercial

Se obtiene una superficie gris obscuro con rayas o estrías más obscuras, eliminando todo el herrumbre escoria de laminación y cualquier -- otra materia extraña pero sin eliminar totalmente las incrustaciones firmemente adheridas.

I.c Limpieza Cercana al Metal Blanco

Su aspecto es intermedio entre los dos tipos de limpieza antes mencionados y no deberá de mostrar óxido o herrumbre residuos de pintura, - aceite, grasa u otra materia extraña.

El equipo de limpieza con chorro de arena consiste en un depósito de fluidización del abrasivo, un compresor o una línea de aire comprimido, manguera y boquillas las cuales se describen someramente a continuación.

Abrasivos.

Dependiendo de su naturaleza se obtienen diferentes acabados característicos. El grado de aspereza o profundidad de las inscripciones provocadas por el abrasivo tienen gran influencia sobre la adherencia y uniformidad del recubrimiento; si la superficie obtenida es muy tersa o pulida el grado de anclaje o adherencia será insuficiente mientras que las incisiones son demasiadas profundas, - las crestas o puntos agudos sobresaldrán sobre la capa de recubrimiento, quedando sin protección. Los abrasivos más comunes son los siguientes:

Arena Sílica

Por su bajo costo es el abrasivo más utilizado. Además por su dureza no se romper fácilmente al chocar con la superficie de acero. La arena deberá tener un tamaño de partícula inferior a las 18 mallas puesto que a tamaños mayores (abajo de 16 mallas) solo martillean la superficie sin limpiar pequeñas cavida

des.

Por otra parte, el tamaño de partícula deberá ser superior a las del tamiz de 80 mallas a fin de evitar el polvo que producen las partículas muy pequeñas - (arriba de 80 mallas).

Además de la clasificación de la arena es necesario que esta se encuentre libre de sales, grasa, aceite y suciedad que pudiera contaminar la superficie.

Gravilla de Acero

Este abrasivo considera fragmentos de acero o hierro vaciado con bordes duros y cortantes que practicamente no produce polvo y limpia rapidamente. Sus desventajas principales son la de producir una superficie demasiado áspera que requiere de número de manos del recubrimiento para cubrir las crestas y de que en la presencia de humedad atmosférica puede llegar a oxidarse, por lo que si es utilizada contamina la superficie.

No se recomienda el uso de municiones de hierro o acero por su baja eficiencia de limpieza.

En la siguiente tabla se presenta la profundidad del anclaje producido por estos abrasivos.

A B R A S I V O	PROFUNDIDAD DE ANCLAJE mmx10 ⁻² (MILS PULG).
Arena muy Fina (80 Mallas)	3.8 (1.5)
Arena Fina (40 Mallas)	4.8 (1.9)
Arena Mediana (18 Mallas)	6.3 (2.5)
Gravilla de Acero G-50 (25 Mallas)	8.3 (3.3)
Gravilla de Acero G-40 (18 Mallas)	9.1 (3.6)
Gravilla de Acero G-25 (16 Mallas)	10 (4.0)
Gravilla de Acero G-16 (13 Mallas)	20 (8.0)

Suministro de Aire.

Para una limpieza apropiada, el aire de sopleteo deberá estar exento de humedad, aceite o cualquiera otra materia extraña. Los mejores resultados se obtienen cuando la presión del aire es de cuando menos 7 Kg/cm², medidos en la boquilla para una capacidad (gasto) no menor a los 8.5 M3/Min, con una boquilla de orificio de 9.5 mm. Si el tamaño de la boquilla aumenta deberá de aumentarse la cantidad de aire de suministro manteniendo la misma presión. Si se trabaja abajo de estas condiciones de operación, la preparación de superficie resulta muy lenta e ineficiente, dado que practicamente no es posible des

prender contaminantes fuertemente adheridos.

Recipiente de Fluidización.

Tiene por objeto dosificar y fluidizar una cierta cantidad de abrasivo en la corriente de aire de alta presión, haciendo posible su transportación a través de mangueras a la zona de limpieza. Dependiendo de su tamaño, la capacidad varía entre 200 y 400 litros de arena (entre 3 y 6 sacos). Para trabajos continuos se fabrican con dos cámaras a fin de que una de ellas este en operación mientras que la otra se carga con arena. Fig. 7.2

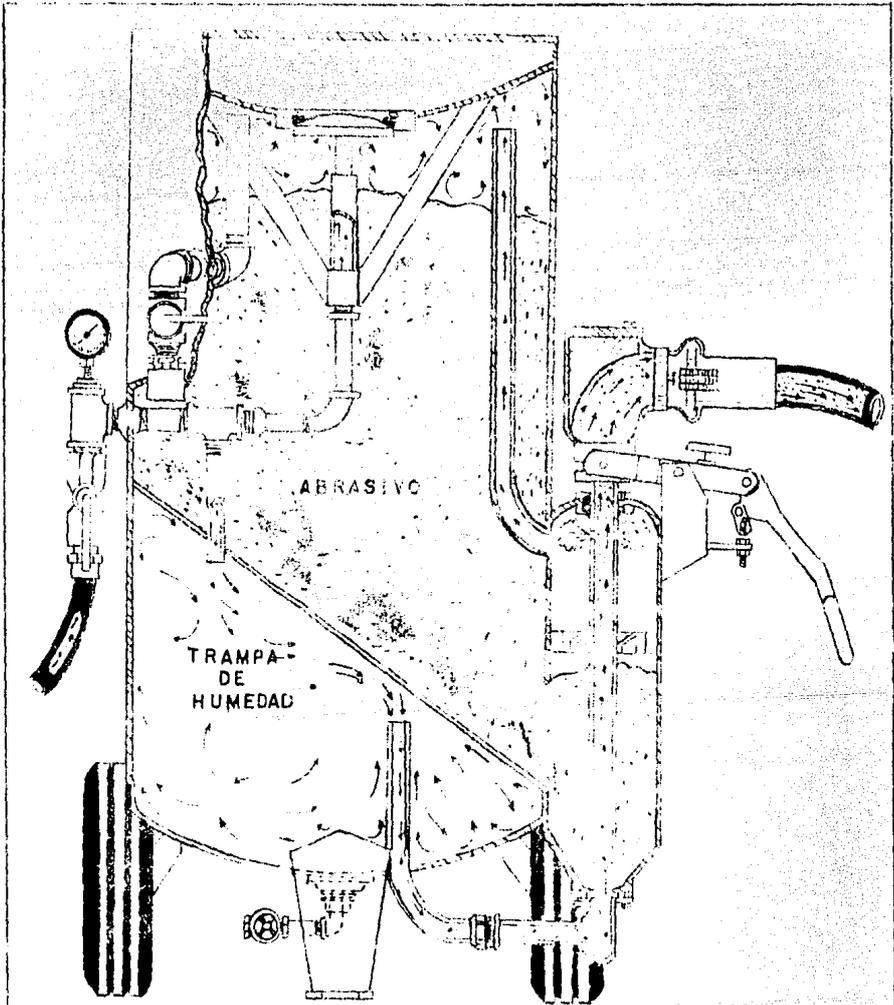
Mangueras.

Con el fin de mantener los gastos y presión de operación antes mencionados, es necesario seleccionar el tamaño de la manguera.

Si la longitud de la manguera es de 15 metros o menor, un diámetro interno de 025.4 mm. es adecuado para una boquilla de 9.5 mm. Si es superior a los 15 metros deberá preferirse una manguera de 31.75 mm. de diámetro interno, a fin de evitar pérdidas sucesivas de presión.

Boquillas

Son dispositivos de carburo de tungsteno, hierro vaciado o cerámica que tiene por finalidad acelerar las partículas de arena y dirigir el chorro hacia una región de la superficie por limpiar.



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN
RECIPIENTE DE LIMPIEZA POR ABRASIVO	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG. No. 7.2

En el mercado se encuentran los tamaños convencionales de 6.35 mm. y 9.5 mm. Los dos primeros se utilizan en trabajos menores. En la práctica se utilizan las boquillas de carburo de tungsteno dado que tiene una vida útil de aproximadamente de 800 horas de sopleteo continuo, en comparación con las 5 ó 6 horas de las dos restantes, por lo que a largo plazo resultan más económicas.

Procedimiento.

Durante la limpieza con chorro de arena deberán de tenerse en cuenta los siguientes aspectos.

- a). Mediante la válvula, deberá de regularse la cantidad de arena en forma tal que sea suficiente para limpiar con rapidez sin llegar a obstruir la corriente de aire.
- b). La presión y el gasto de aire, especificados anteriormente deberán mantenerse constantes.
- c). La boquilla deberá de mantenerse a 25 cms. de la superficie moviéndola lentamente de un lado a otro y regresando, hasta obtener una superficie completamente limpia. No deberá mantenerse la boquilla un tiempo excesivo sobre un mismo punto. En condiciones normales se puede limpiar a metal blanco una superficie entre 13 y 15 M²/Hr. no se recomienda mayores velocidades de limpieza.
- d). Una vez terminado el sopleteado con arena, el exceso de polvo deberá de quitarse con un chorro de aire limpio y seco o preferentemente con

una aspiradora. Este punto es de gran importancia.

Para aceptar una superficie preparada con abrasivo deberá de tener el mismo aspecto que una área de 2 M²., seleccionada previamente como patrón y representativa de las condiciones generales. Para comprobar que la profundidad de anclaje es la especificada (0.0254 a 0.0635 mm. de acuerdo al espesor de película del primario), la superficie preparada se comparará con la del patrón aceptado utilizando la lámpara comparadora de anclaje.

En cualquier caso en que se haya especificado preparación con abrasivo el tiempo máximo que se permitirá que transcurra entre la limpieza y la protección de la superficie dependerá del ambiente en que se opere, pero nunca ser mayor de cuatro horas.

Cuando por algún motivo se exceda el tiempo de protección anteriormente señalado, se repetirá el trabajo de preparación de la superficie.

CAPITULO VIII

MANTENIMIENTO E INSPECCION DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA

GENERALIDADES

El buen estado de conservación del sistema de protección catódica radica principalmente en el cumplimiento y realización del programa de inspección al gasoducto con el propósito de recabar datos, mismos que serán evaluados posteriormente, y de ello obtenerse acciones correctivas de mantenimiento que aseguren la integridad continua de la instalación a lo largo de su vida útil de servicio.

El programa básicamente consiste de las inspecciones, sea inicial, anual y especial como se indica a continuación.

Inspección Inicial.

Se llevará a cabo tan pronto como sea posible después de haber concluido la operación de instalación del gasoducto sobre el lecho marino, y se realizará dentro de un tiempo razonable y normalmente no mayor de dos semanas.

Inspección Anual

Estará basada sobre los resultados de las anteriores inspecciones, inclusive considerando condiciones a las cuales el sistema de tubería ha sido sometido -

tal como exposición térmica, presión interna y cargas ambientales.

Inspección Especial.

Se llevará a cabo cuando ocurra cualquier evento imprevisto mismo que deteriore la seguridad y la estabilidad del sistema.

Tales eventos son entre otros:

- Si el sistema de tubería es dañada o se sospecha de haber sido dañada.
- Si el sistema muestra signos de deterioración.
- Si el sistema está sujeto a alteraciones, reparaciones o reemplazos.

Los objetivos de las inspecciones se categorizan en tres diferentes tipos de inspecciones realizadas a la estructura submarina.

Tipo I. Inspección geofísica.

Tipo II. Inspección visual detallada.

Tipo III. Inspección con pruebas no destructivas.

Tipo I. Inspección Geofísica.

El objetivo en ésta, es la de detectar daños obvios en la tubería sin necesidad de realizar ningún tipo de limpieza en la misma para el acceso del inspector.

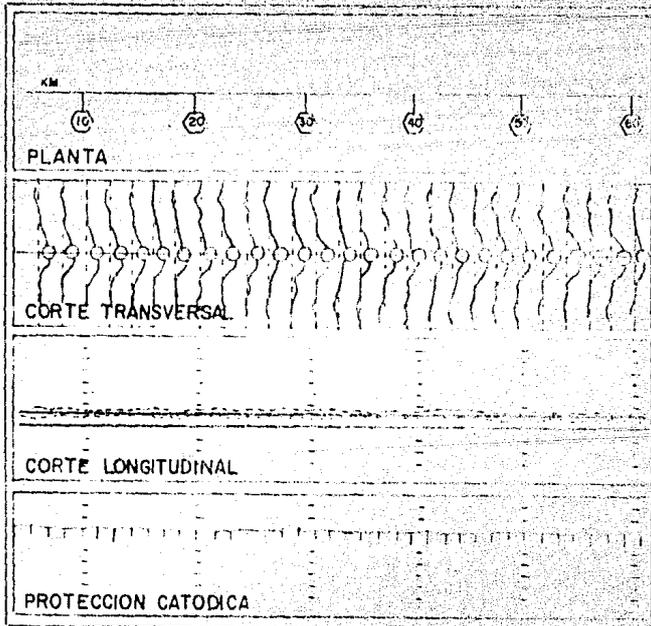
En este tipo de trabajos generalmente se utilizan los métodos geofísicos, tal como es el sonar de barrido lateral.

Este método es el más usado en el país principalmente por Petroleos Mexicanos el que consiste de un vehículo sumergible llamado "Pipetracker" (rastreador de tuberías), equipado de un sistema de sonar, así como de un mecanismo receptor, transductor y transmisor de la resonancia, ésta señal es enviada a una computadora donde es procesada y representada como se señala en la figura 8.1, donde se puede observar tres gráficas diferentes, la gráfica superior nos muestra la localización del gasoducto con respecto a las coordenadas geográficas del lugar, así como las distancias de un punto a otro a lo largo de la tubería.

La gráfica de en medio nos muestra el perfil de la sección transversal de la tubería en puntos deseados, y además su posición en la zanja del lecho marino, y ésta representación se puede realizar tantas veces como las que se desee. Y por último, la tercer gráfica nos muestra el perfil longitudinal de la tubería a lo largo de la sección inspeccionada, con respecto a coordenadas de profundidad en la zanja del lecho marino.

Tipo II. Inspección Visual Detallada.

El objetivo de ésta inspección es la de realizarla de manera exhaustiva a todas aquellas deterioraciones detectadas en el tipo de inspección anterior, y a las áreas previamente seleccionadas, que generalmente es necesario limpiarlas para su inspección.



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN	
REPRESENTACION GRAFICA DE LOS DATOS OBTENIDOS POR EL RASTREADOR DE TUBERIAS.		
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS	
J. LUIS OLIVA BOVER	FIG. No. 8.1	

Esta generalmente se lleva a cabo localmente, y es realizada por grupos de buzos quienes evalúan visualmente los daños en el sistema de protección catódica y en la realización se auxilia de la fotografía y del sistema sumergible de -- video.

Tipo III. Inspección con Pruebas no Destructivas.

El objetivo en ésta, es la de localizar, evaluar las deterioraciones de la estructura que no son fácilmente detectables por los dos tipos anteriores de inspecciones.

Este tipo de inspección se basa principalmente en pruebas no destructivas como son:

Pruebas radiográficas.

Pruebas de barrido con diablos instrumentados.

Pruebas de medición de potencial.

Pruebas Radiográficas.

En este tipo de pruebas generalmente se usa en las soldaduras, puesto que son los puntos más recomendables para su aplicación.

Pruebas de Barrido con Diablos Instrumentados.

La detección, localización e identificación interna y externa de deterioros en la tubería, tales como: picaduras debidas a la corrosión, ranuras, abolladuras

marcas de esmerilado y rajaduras circunferenciales entre otras.

Se realiza generalmente durante la corrida del diablo instrumentado, el que opera basándose en el principio de localizar las fugas del campo magnético -- creadas en la vecindad de las anomalías e imperfecciones de la tubería.

El diablo instrumentado consiste de tres elementos principales: La sección impulsora en el frente, la sección combinada de imanes y transductores en el -- centro y la de amplificadores electrónicos y sistema de grabación en la parte posterior del instrumento.

Sección Impulsora

Las baterías localizadas en la sección delantera provee la energía necesaria para el instrumento durante la corrida.

Esta sección está centralizada por copas de poliuretano las que permiten que se produzca una diferencial de presión, misma que va a favorecer que el instrumento se mueva dentro de la tubería.

Sección Transductora.

La sección del centro está provista de un número de zapatas transductoras montadas en dos anillos para equiparlas y éstas a su vez mantienen un contacto - estrecho entre los dos sistemas sensores y la superficie interior de la tubería a través de la corrida de inspección.

Los sensores cubren los 360 grados completos de la circunferencia de la tubería con un amplio margen de empalme.

La suspensión de los sensores provee un factor de colapso suficiente para que le permita al instrumento pasar a través de reducciones localizadas en el diámetro interior de la tubería sin que esto cause daño al equipo.

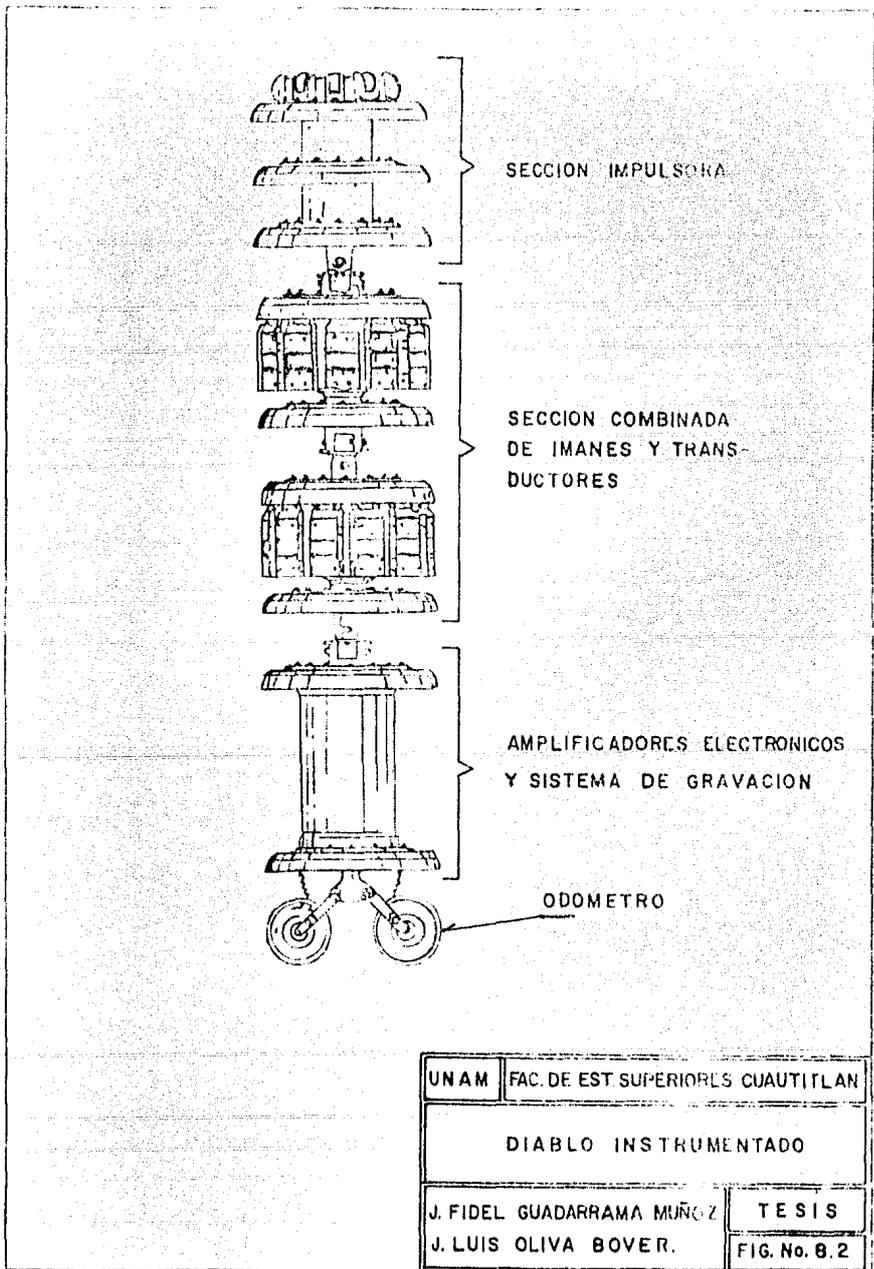
A medida que el instrumento pasa a través de la tubería un campo activo de flujo magnético es inducido a la pared de la tubería. Señales electrónicas son generadas de la fuga del campo magnético causadas a su vez por anomalías de carácter interno o externo del material de la tubería.

Esta fuga de flujo magnético se detecta por los dos grupos de sensores colocados en posición tal que se cubra los 360 grados de la tubería.

Sección Instrumentada.

La sección consiste de un sistema electrónico completo y de instrumentos de grabación donde todas las señales son procesadas y acumuladas en una cinta magnética, anexado a la sección trasera del instrumento se encuentran dos ruedas que forman el Odómetro cuya función es la de medir la distancia. Ver figura 8.2

Al finalizar la corrida, la cinta magnética es removida del instrumento. El sistema de reproducción recupera y procesa la información que fue acumulada en la cinta magnética ésta información procesada se envía a un oscilógrafo de



rayos de luz donde es transferida al papel para que sea interpretada, obteniéndose gráficas semejantes a la de la figura 8.3, donde se puede observar irregularidades debidas a los defectos de la tubería.

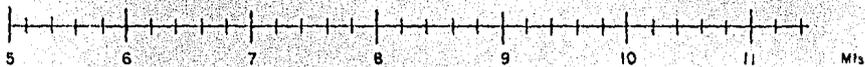
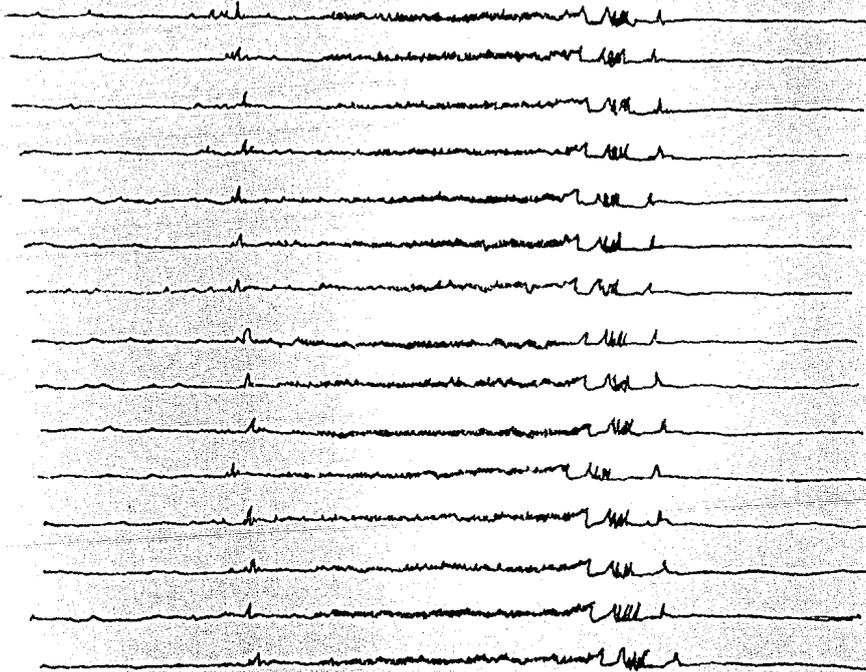
Estas irregularidades que se observan en la gráfica son debidas a las fugas del campo magnético, mismas que son localizadas a lo largo de la tubería a través de la gráfica que se obtiene del odómetro.

ESPECIFICACIONES DEL DIABLO INSTRUMENTADO
(STANDARD)

Ø TUB. PULG.	LARGO (MTS)	PESO (KGS)	MAX. DURACION (HR)	CAP. DE CURVA,
6"	2.08	87.8	20	6D-90
8"	2.36	180	35	7D-90
10"	1.93	168.8	35	3D-90
12"	1.98	213.8	35	3D-90
14"	1.98	225.0	35	3D-90
16"	2.06	303.8	35	3D-90
20"	3.25	803.3	100	3D-90
22"	3.25	812.3	100	3D-90
24"	3.33	895.5	100	3D-90
26"	3.33	904.5	100	3D-90
30"	3.78	1499.0	100	3D-90
32"	3.78	1575.0	100	3D-90
34"	3.78	1665.0	100	3D-90
36"	4.57	2970.0	100	3D-90
40"	4.57	3060.0	100	3D-90
42"	4.57	3150.0	100	3D-90
48"	6.20	4500.0	100	3D-90

VELOCIDAD DEL INSTRUMENTO

Mínima	Máxima
1.6 Km/Hr.	16 Km/Hr.



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN
GRAFICA DEBIDA A IRREGULARIDADES POR CORROSION.	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER	FIG. No 8.3

Condiciones de Operación de la Tubería.

La presión y el flujo debe ser tal que le permita al diablo viajar a través de la tubería a una velocidad constante.

En la línea de gas natural la presión de operación no debe ser menor de 32 Kg/cm², para garantizar una velocidad constante.

Pruebas de Medición de Potencial.

En esta inspección el objetivo principal es el de contar con la información de la variación del potencial en cada uno de los puntos a lo largo de la tubería, para que de esta manera se determine la eficiencia del funcionamiento del sistema de protección catódica. Por lo que es necesario realizar mediciones a nivel local como a nivel general, en el primer caso ésta será realizada por grupos de buzos con el auxilio de instrumentos portátiles tales como el "Baticorrometro", que le permitirá realizar lecturas de potencial en puntos específicos de la tubería, obteniéndose lecturas en la pantalla (display) del mismo instrumento, así como la opción de enviar la señal a un lugar remoto (superficie) cuya información puede ser registrada en equipos convencionales.

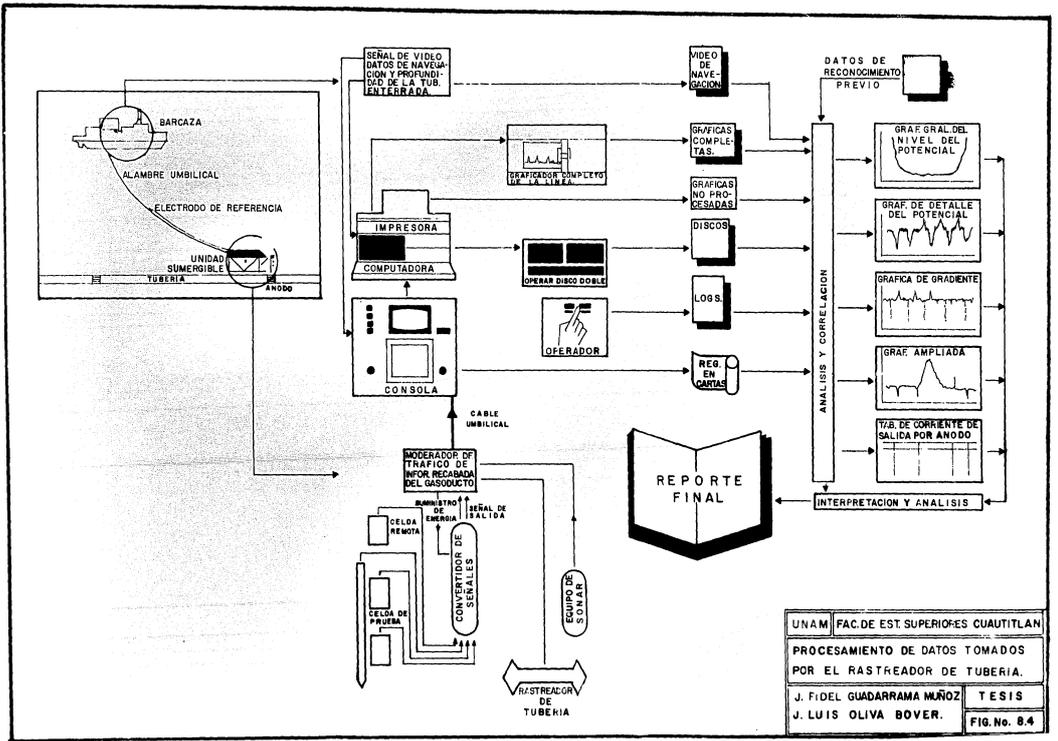
Para el caso de la medición a nivel general se debe realizar con el auxilio de instrumentos que serán operados remotamente.

Este procedimiento consiste en realizar la inspección con equipo sumergible a poca distancia de la localización de la tubería de la que se desplazará a lo

largo de la misma, con el auxilio de datos de navegación puesto que ésta unidad sumergible será arrastrada por una barcaza a lo largo de la tubería.

La unidad sumergible constará de un electrodo de referencia que generalmente será de Ag/AgCl ., y de un electrodo sensor, esta celda enviará la información recabada a una computadora donde será procesada y registrada para que finalmente se haga llegar la información en forma de gráficas para su interpretación y análisis.

En la siguiente figura 8.4, muestra esquemáticamente como se lleva a cabo esta inspección.



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTILIAN
PROCESAMIENTO DE DATOS TOMADOS POR EL RASTREADOR DE TUBERIA.	
J. FIDEL GUADARRAMA MAÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER.	FIG. No. 8.4

CAPITULO IX

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA

Atendiendo las necesidades de las políticas de explotación petrolera del país, exigen instalar un nuevo gasoducto de .9144 mts. (36 pulg.) de diámetro con -- una longitud de 69 Kms. totales que transportará 360 millones de pies cúbicos por día (MMPCD) de gas desde la plataforma de compresión Pol-79 a Nuevo Progreso Atasta, ubicado en la Sonda de Campeche.

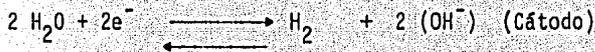
El gasoducto se localizará en un medio marino, por lo que es necesario proporcionarle protección catódica, debido a que con gran facilidad se desarrollan celdas galvánicas, donde el recubrimiento del gasoducto tiene fallas, ésto es favorecido por la aleación del metal y la composición del agua de mar.

AGUA DE MAR.

Temperatura -----	35°C. Máx/26 Nor/15 Min.
PH -----	8.0 - 8.3
Oxígeno Disuelto -----	5.6 - 8.0 PPM
Sulfuros -----	3100 PPM
Sólidos Suspendidos -----	2 - 4 PPM
Cuenta Total Bacteriana (Colonias/MI) ---	40
Calcio Ca ²⁺ -----	440 PPM
Bario Ba ²⁺ -----	0.006 PPM
Estroncio Sr ⁺⁺ -----	5.7 PPM
Fierro Fe ⁺⁺ -----	0.005 PPM
Sulfatos SO ₄ ⁼ -----	3.00 PPM
Carbonatos CO ₃ ⁼ -----	26 PPM

Bicarbonatos HCO_3 -----	111.0 PPM
Dureza al Calcio CaCO_3 -----	5760 PPM
Tendencia del agua -----	Incrustante
Velocidad de corrosión -----	26 MPK (0.6604 mm/año)
Resistividad del lodo salino -----	85 oHm/cm
Cloruros -----	26785-27323 PPM.

MECANISMOS ELECTROQUIMICOS DE CORROSION



Existen otras reacciones que intervienen con menor importancia.

Dicha protección catódica consistirá en imponer una corriente catódica al gasoducto con el propósito de controlar las reacciones descritas anteriormente. Esto se logrará acoplando un metal más anódico, mismo que se oxidará proporcionando la protección requerida.

BASES DE DISEÑO.

1. La plataforma de compresión deberá contar con cuatro módulos que en--

viarán al gasoducto 360 millones de pies cúbicos por día (MMPCD) de gas con una presión de 82 Kg/cm²., y con una temperatura acondicionada de -- 32°C (125°F) con la siguiente composición:

COMPONENTE	% MOL
Agua -----	0.169
Ac. Sulfhid.-----	1.582
Biox. de Carbono -----	3.352
Nitrógeno -----	0.438
Metano -----	56.287
Etano -----	17.735
Propano -----	12.134
1-Butano -----	1.69
N-Butano -----	4.447
1-Pentano -----	0.847
N-Pentano -----	0.942
N-Hexano -----	0.212
Otros -----	0.30

2. Origen.

Plataforma de Compresión Pol-79 (Sonda de Campeche).

3. Destino.

Estación de recompresión Nuevo Progreso Atasta.

4. Longitud del Gasoducto.

69 Kms. totales, de los cuales 64 Kms. serán submarinos y los restantes 5 Kms., serán en la Costa de Atasta. Ver. Figura 9.1

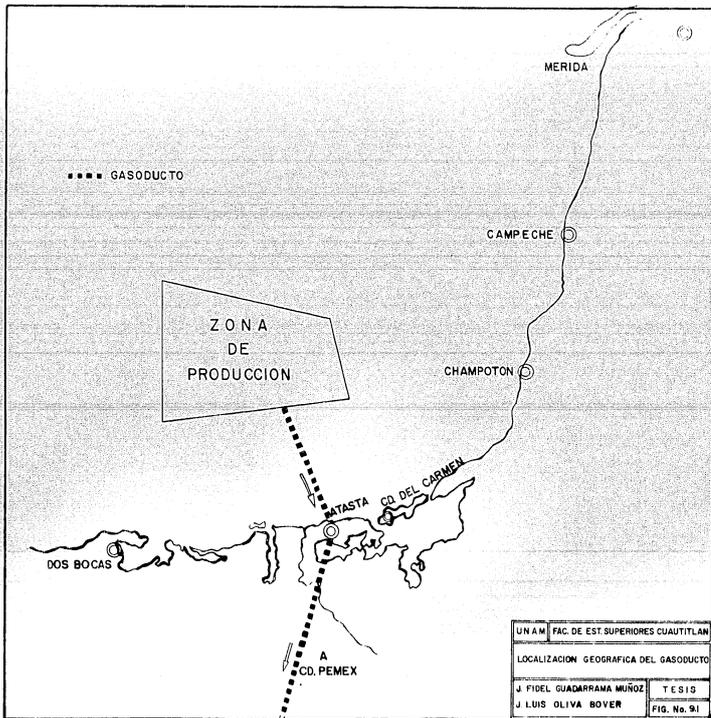
5. Gasoducto de 0.9144 mts. (36 pulg), de acero al carbón, API-5LX-60, API-5LX-52, según especificación API-SPC-5LX. Es una tubería de alto grado de prueba, con la siguiente composición:

COMPOSICION DE LA TUBERIA API-5LX-60 Y API-5PC-5LX

ANALISIS	C % MAX	Mn % MAX	Si % MAX	P % MAX	S % MAX	Cu	Ni % MAX	Mo % MAX	Cr % MAX	Cb % MAX	Ti % MAX	V % MAX	CE % MAX
Colada	0.12	1.10	0.30	0.02	0.005	0.35 Max 0.25 Min	0.09	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	0.36
Comprob.	0.14	1.10	0.35	0.02	0.005	0.35 Max 0.25 Min	0.09	0.08	0.08				0.36

CE.- Carbono Equivalente.

$$CE = \frac{C + Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cd}{15}$$



REQUISITOS ESPECIFICOS DEL PROYECTO

Para obtener los resultados deseados tanto de los recubrimientos anticorrosivos, así como la de los ánodos galvánicos de la protección catódica se deberá cumplir con los requisitos específicos que se enumeran a continuación:

- a). Una vez realizada la preparación de la superficie metálica del gasoducto, en acabado metal blanco de acuerdo al Capítulo VII, se deberá aplicar inmediatamente después el primario inorgánico de zinc poscurado. (28)

En sus 64 Kms. de longitud, el espesor de la película seca del primario deberá ser de 0.0508 mm. (2 mls. de pulg).

- b). Se deberá aplicar cinta Hot-Cland termocontactil 110 a los primeros 20 Kms. del gasoducto a partir de la plataforma, debido a que en esta sección se registran las temperaturas más elevadas (Ver. Fig. 9.5).

Este recubrimiento anticorrosivo se recomienda aplicar a ductos que operan a temperaturas altas (60 a 120°C).

Para su aplicación la tubería deberá calentarse entre 150 a 200°C, fuera de este rango no se deberá aplicar el recubrimiento.

Los dispositivos de calentamiento estarán diseñados para calentar la tubería a razón de 2 a 8 m/Min., sin contaminarla, dicha cinta se aplicará envolviendo a la tubería con un traslape de 2.54 cm. (1 Pulg). y como mínimo 1.9 cm. (3/4 Pulg) a una tensión de 0.703 Kg/cm² (10 26/Pulg²)

Puede ser aplicada manualmente ó por medio de máquinas encintadoras.

c). El espesor del recubrimiento anticorrosivo de esmalte de alquitran de hulla será 2.4 mm. (3/32 Pulg)⁽²⁸⁾ en sus restantes 44 Km. de longitud del gasoducto que será preparado y aplicado según se especifica en el Capítulo VI. Antes que se enfrie el esmalte, debe aplicarse sobre el mismo una envoltura de refuerzo de fibra de vidrio, en una espiral uni forme, esto se debe hacer de modo que la envoltura de vidrio se embeba dentro de la superficie externa del esmalte caliente y se debe de hacer que la cantidad estrictamente necesaria de esmalte penetre a través de la envoltura de vidrio hasta saturarla por completo. En seguida se deberá aplicar una segunda capa selladora de esmalte, aplicado en calliente. Los traslapes en los bordes de la envoltura será de 25.4 mm. (1 Pulg).

d). Se deberá aplicar un recubrimiento de lastre de concreto con la finalidad de que proporcione protección al recubrimiento anticorrosivo de la acción abrasiva de la arena, o del fango producido por las corrientes marinas y del efecto de oleaje sobre la tubería, además para vencer la fuerza de flotación y de arrastre debido a las corrientes.

Se deberá preparar con cemento portland arena pétreo y finos de mineral de hierro, con las densidades respectivas que se mencionan en la tabla 9.1, permitiéndose una tolerancia de 80 Kg/M³. (5 Lb/Ft³) para cada -- densidad indicada. (27, 43)

e). El lastre de concreto deberá tener los espesores señalados en la tabla 9.1, mismos que no deben de variar de ± 6.3 mm. (0.25 Pulg), a lo largo de la tubería revestida, y su aplicación será de acuerdo a los requisitos de ejecución del capítulo VI. (27)

f). La resistencia a la compresión del concreto deberá tener un mínimo de 280 Kg/cm² (4000 Lb/Pulg²) a los 7 días y no deberá ser menor de 352 Kg/cm² (5000 Lb/Pulg²) a los 28 días. (27)

g). Agregado Pesado

El agregado pesado deberá satisfacer la Norma ASTM-C-29-78 debe tener una densidad específica mínima de 2700 Kg/M³. (27,44)

El material deberá triturarse y graduarse a los tamaños de malla que se indican: (42)

MALLA	PORCENTAJE QUE PASA
6 mm. (1/4")	100
No. 16	30 - 75
No. 50	10 - 40
No. 100	- 25

ANODO DE ALUMINIO TIPO BRAZALETE MOLDE CILINDRICO SEGMENTO

KILOMETRAJE	GASODUCTO	DIMENSIONES DE TUBERIA		REVESTIMIENTO ANTICORROSIVO	REVESTIMIENTO DE LASTRE DE CONCRETO (ESPESOR)	PESO NETO TOTAL DEL ANODO DE ALUMINIO	ESPESOR DEL ANODO	CANTIDAD DE ANODOS PARA CADA SECCION	SEPARACION ENTRE ANODOS	TOTAL DE MASA ANODICA	REQUERIMIENTOS DE CORRIENTE
0 + 000 Km. A 20 + 000 Km.	CA-PA-1-ATASTA (POL-79-ATASTA)	914.4mm (36")	22.22mm (0.875")	CINTA TERMOCON-TRACTIL HOT-CLAND CON 5/32 ADITIVO TERMOPLASTICO DE ALTA TEMP	79.37mm-3046Kg/cm ³ (3.125"-190 lb /ft ³)	216 Kg. 476.2 lbs.	79.37 mm. (3.125")	328	61 mts. 200 ft	70848 Kg.	346.5 Amp.
20 + 000 Km. 33 + 000 Km	CA-PA-1-ATASTA (POL-79-ATASTA)	914.4mm (36")	22.22mm (0.875")	4mm (3/32") DE ESMALTE DE ALQUI-TRAN DE HULLA.	79.37mm-3046Kg/cm ³ (3.125"-190lb/ft ³)	216 Kg. 476.2 lb	79.37 mm. (3.125")	178	73.14 mts. 240 ft	38 448 Kg.	200 Amp.
33 + 000 Km. 64 + 000 Km.	CA-PA-1-ATASTA (POL-79-ATASTA)	914.4mm (36")	22.22mm (0.875")	4mm (3/32") DE ESMALTE DE ALQUI-TRAN DE HULLA.	114.3mm-2600Kg/cm ³ (4.5")-160 lb/ft ³)	321.5 Kg. 708.8 lbs.	114.3 mm. (4.5")	283	109.71mts. 360 ft,	90984.5 Kg.	440.94 Amp.

TABLA 9.1

El agregado pesado debe estar libre de arcilla y cantidades nocivas de alcalis, sustancias perjudiciales e impurezas orgánicas que puedan --- afectar la resistencia del concreto.

- h). La preparación de la superficie exterior del gasoducto deberá realizarse en acabado metal blanco, con chorro de abrasivo de acuerdo al Capítulo VII. (28)
- i) El sistema de protección catódica del gasoducto submarino debe tener una vida útil de 20 años de servicio, debido a que es el tiempo que se espera que esté en operación, además su diseño mecánico está recomendado para tal período.
- j). El rendimiento de la aleación del ánodo de aluminio debe calcularse en base a los parámetros siguientes: (33)

Capacidad de corriente 881 Amp-Hr/Kg

Potencial del circuito abierto 1.01 Volts

Y su composición debe ser la siguiente:

ELEMENTO	%	
Zinc	2.8	- 3.5
Silicio	0.11	- 0.21
Indio	.01	0.02
Fierro	.08	- Max.
Cobre	0.006	- Max.
Otros	0.02	- Max.
Aluminio	Balance	

Esta aleación es la que deberá de usarse, puesto que los resultados reportados de campo han mostrado una excelente eficiencia, en comparación al ánodo de aluminio puro el que presenta un desgaste rápido y baja capacidad de corriente.

- k). Los ánodos del tipo galvalum III ó similar deben de instalarse en el centro de los tramos correspondientes de tubería individuales de 12.19 mts. (40 pies) de longitud.

Esto es con la finalidad de facilitar la obra del recubrimiento de las trado de concreto.

- 1). El ánodo de brazaletes del tipo molde cilíndrico debe unirse a la tubería por soldadura circunferencial a orejas en forma de "T", en cuatro lugares para cada brazaletes.

Para el ánodo de brazaletes tipo segmentado debe unirse a la tubería -- por soldadura circunferencial a placas de sujeción de 6 x 50 x 75 mm. (1/4" x 2" x 3"), como se muestra en la figura 9.3, para facilitar su instalación y mantenimiento.

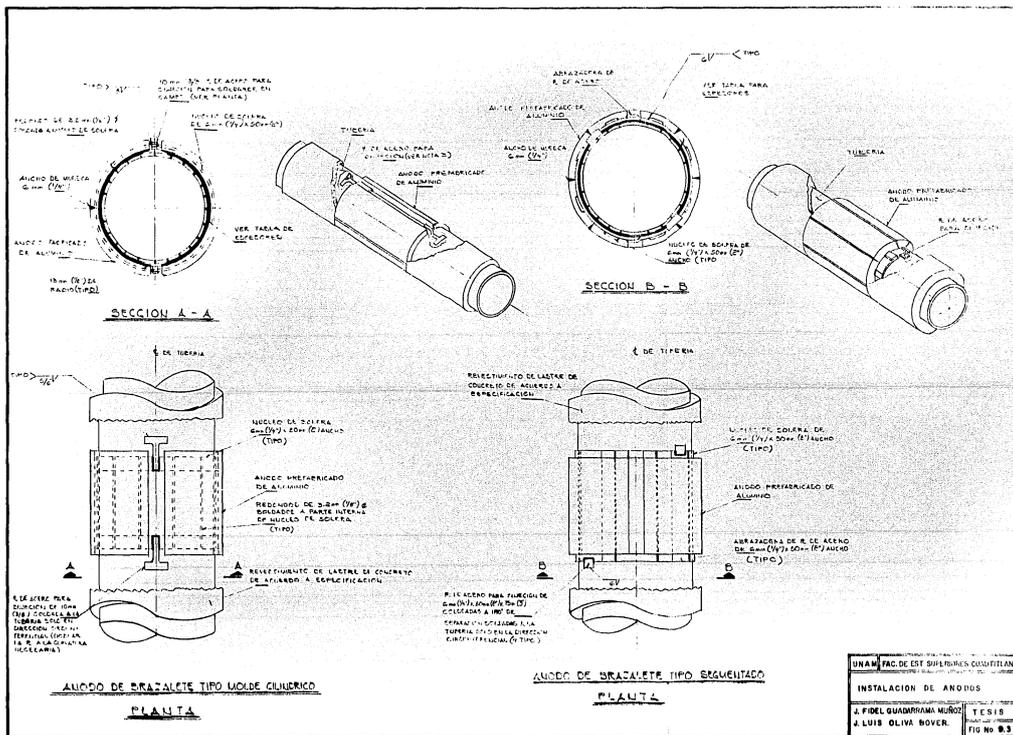
- m). El recubrimiento en los 20 Kms. será a base de cinta termocontractil hot-cland 110 con aditivo termoplástico de alta temperatura ó producto similar, así como la curva de expansión será aplicada en el ducto ascendente (Rizer).

Se decidió realizarlo de esta manera básicamente por seguridad, puesto que es la longitud donde se dan los cambios grandes de temperatura.

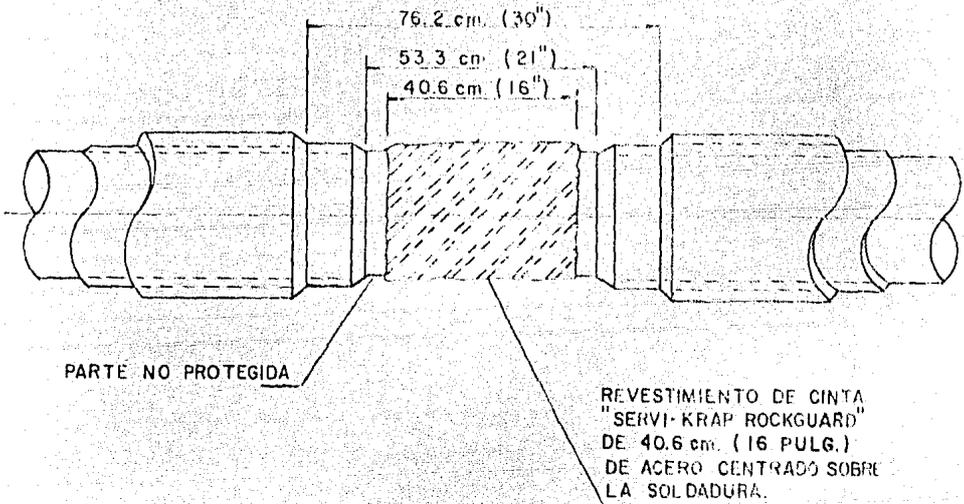
- n). El material de la cinta para las juntas de campo debe de ser serviwrap Rockguard ó equivalente con las siguientes propiedades físicas:

Resistencia a la tensión:	8.9 N/mm ² .
Elongación	260.00%
Resistencia al corte	132.0 N. fuerza
Resistencia dieléctrica	20.00 Kv. Min.
Rango de Temp. de operación	-34° a 100°C

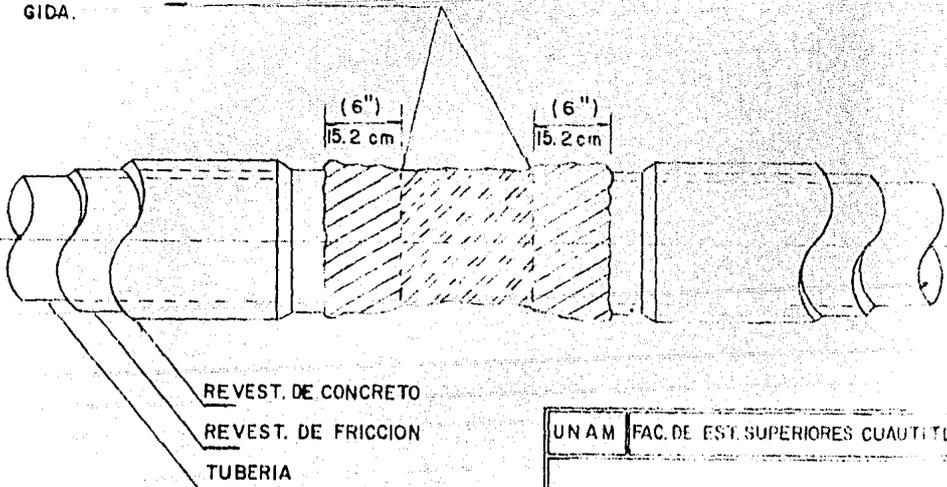
Ver Figura 9.4



UNAM FAC. DE EST. SUPERIORES QUIMICAS	
INSTALACION DE ANODOS	
J. FIDEL GUADARRAMA MURGO	T. C. S. 18
J. LUIS OLIVA BOYER	FIG. No. 0.3



REVESTIMIENTO DE CINTA "SERVI-KRAP ROCKGUARD" DE 15.2 cm. (6 pulg.) - DE ANCHO CENTRADO SOBRE LA PARTE NO PROTEGIDA.



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN
DETALLE DE JUNIA DE CAMPO	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER	FIG. No. 9.4

CALCULO DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA PROTECCION CATODICA

1. Cálculo del material anódico para el tramo de tubería de 0+000 a 20+000 Km.
- 1.a Para lo cual es necesario estimar la temperatura media logaritmica del gas en este tramo de tubería, se auxiliara de la fig. 9.5 para su cálculo.

$$T = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1}{T_2}}$$

$$T_1 = 117^\circ\text{F en } 0 + 000 \text{ Km Fig. 9.5}$$

$$T_2 = 99^\circ\text{F en } 20 + 000 \text{ Km Fig. 9.5}$$

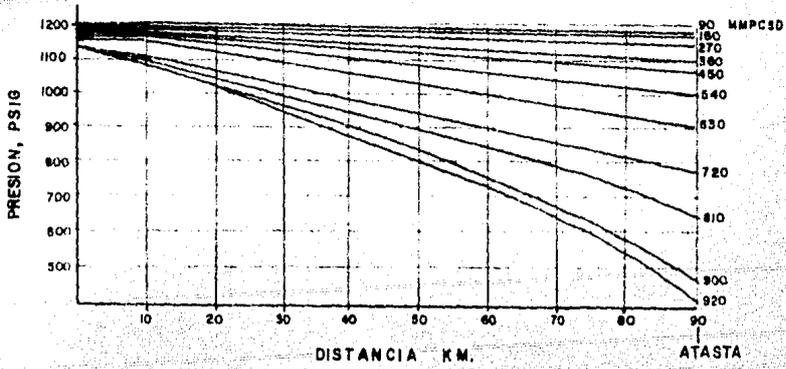
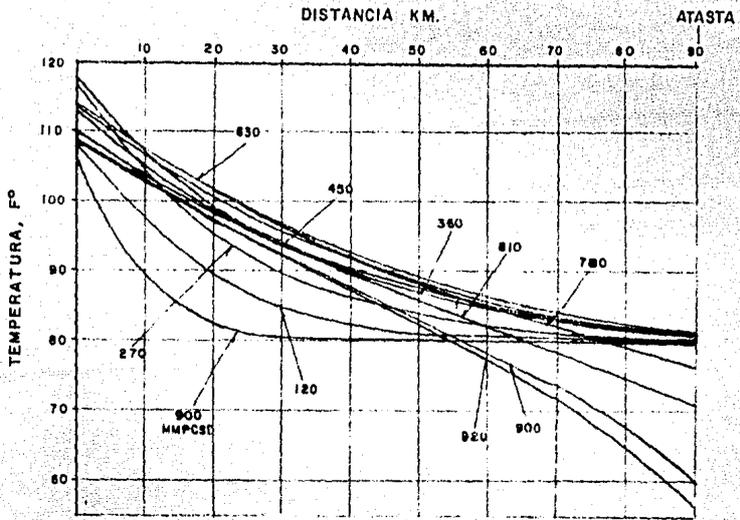
$$T = \frac{(117 - 99)}{\ln \frac{117}{99}} = 107.74^\circ\text{F} \quad T = 107.74^\circ\text{F} (42.08^\circ\text{C})$$

- 1.b Cálculo de la densidad de corriente (Dc)

Esta se calculará considerando el efecto de temperatura y del oxígeno disuelto en el lecho marino. Por lo cual se hará uso de la ecuación de R.M Venet (46)

$$Dc = \frac{1}{2} \left[\frac{(0.396 T + 10.2 - 0.51)}{12} dc + \frac{(0.266 T + 10.7 - 0.335)}{12} dc \right] \dots (9.2)$$

CONDICIONES DE FLUJO A TRAVES DEL GASODUCTO



DUCTO POL-79 - ATASTA
(COMPOSICION DE DISEÑO)

FIG. 9.5

Donde:

Dc = Densidad de corriente de diseño MA/Mt² (MA/ft²)

T = Temperatura °C

dc = 50 MA/M2 (4.645 MA/ft²)

Este valor es recomendado por el Código DNV (7) Tabla D.1 Apéndice-D

$$Dc = \frac{1}{2} \left[\frac{(0.396 (42.08) + 10.2 - 0.51) 4.645 + (0.266 (42.08) + 10.7 - 0.335) 4.645}{12} \right]$$

Dc = 80.42 MA/M2 (7.47 MA/ft²)

1.c Cálculo del requerimiento de corriente (I_t) Amp.

$$I_t = \pi (\phi \text{ Tub}) (l_t) (Dc) (\% \text{ de area descubierta}) (f) \dots 3.9$$

f = 50% Factor de Diseño (33)

$$I_t = 346.5 \text{ Amp.}$$

1.d Peso del material anódico (W_t)

Este se deberá estimar para un periodo de 20 años de servicio, el -- que deberá proteger catódicamente al gasoducto

$$W_t = \frac{I_t (\text{años de servicio})}{\text{Capacidad de corriente del ánodo.}}$$

$$W_t = \frac{(346.5 \text{ Amp}) (175200 \text{ Hr})}{881 \frac{\text{Amp-Hr}}{\text{Kg}}} = 68906.7$$

$$W_t = 68906.7 \approx 68907 \text{ Kg.}$$

2. Dimensionamiento del ánodo.

el perímetro interno (P_i) del ánodo será igual al diámetro nominal - del gasoducto (.9144 mts) más los espesores del recubrimiento 0.003968 mt. (5/32 Pulg.)

$$P_i = \pi (\phi \text{ Tub} + 2 (\text{Espesor del Recubrimiento}))$$

$$P_i = 2.8976$$

El perímetro externo (P_e) del ánodo será:

E ánodo = 79.37 mm. (3.125 Pulg.) espesor del ánodo.

$$P_e = \pi (\phi \text{ Tub.} + 2 E \text{ Recub.} + 2 E \text{ ánodo}).$$

$$P_e = 3.146 (0.9144 + 2 (0.003968 \text{ mt.}) + 2 (0.07937 \text{ mt.}))$$

$$P_e = 3.3963 \text{ mts.}$$

Cálculo del área del ánodo (A)

$$A = B \times H \text{ Donde } B = \frac{P_i + P_e}{2}$$

H = Espesor del ánodo

$$A = \frac{(2.8976 + 3.3963) \text{ mts.}}{2} \times 0.07937 \text{ mts.} = 0.2497 \text{ mt}^2.$$

$$A = 0.2497 \text{ mt}^2$$

Cálculo del volumen del ánodo (v)

$$V = A \times L$$

L = 0.3048 mt (12 pulg.) longitud del ánodo (longitud estandard)

$$V = (0.2497 \text{ mt}^2) (0.3048 \text{ mt.})$$

$$V = 0.076129 \text{ mt}^3$$

3. Cálculo del Peso del Anodo.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad m = \rho v$$

La densidad a utilizar será la del ánodo galvalun III (Tabla Cap. III Pag. 18) Cap. IX Pag. 134

$$\rho = 2834 \frac{\text{Kg}}{\text{mt}^3}$$

$$m = \left(2834 \frac{\text{Kg}}{\text{mt}^3} \right) (0.076129 \text{ mt}^3)$$

$$m = 215.749 \text{ Kg.}$$

$$m = 216 \text{ Kg.}$$

Número de ánodos totales (No) en la longitud de 0+000 a 20+000 Km.

$$\text{No} = \frac{W_t}{m \text{ anodo}} = \frac{68907 \text{ Kg.}}{216 \text{ Kg.}}$$

$$\text{No} = 319 \text{ ánodos.}$$

Espaciamiento Entre Anodos (d)

La distribución de los ánodos, deberá ser equidistantes a lo largo de la longitud de la tubería, para lograr una protección uniforme.

$$L = 20000 \text{ mts.}$$

$$\text{No} = 319 \text{ ánodos}$$

$$d = \frac{20000 \text{ mts}}{319 \text{ ánodos}} = 62.69 \frac{\text{mts}}{\text{ánodo}}$$

$$d = \frac{62.69 \text{ mts.}}{\text{ánodo}}$$

Se tiene que cada uno de los tramos de tubería cuenta con una longitud de --- 12.19 mts. (40 pies), por lo que se calculará a cuantos tramos de tubería se instalará un ánodo de otro.

$$\frac{62.69 \text{ mts.}}{12.19 \text{ mts/tubo}} = 5.14 \frac{\text{tramos de tubería}}{\text{Anodo}}$$

Esto es que a cada 5 tramos de tubería de 12.19 mts. se localizará un ánodo, instalado a la mitad de la longitud de dicho tubo, por lo tanto se tiene:

$$5 \text{ tramos} \times 12.19 \text{ mts.} = 60.95 \approx 61 \text{ mts. de separación entre cada -- ánodo.}$$

$$\frac{20000 \text{ mt. distancia total}}{61 \text{ mt-}} = \underline{328 \text{ ánodos requeridos}}$$

Dimensionamiento de la protección catódica para la longitud de 20+000 a 33 + 000 Km.

El procedimiento de cálculo será exactamente igual al anterior esto es:

$$T1 = 99^{\circ}\text{F en } 20+000 \text{ Km Fig. 9.5}$$

$$T2 = 93.0^{\circ}\text{F en } 33+000 \text{ Km Fig. 9.5}$$

$$\text{De la ecuación 9.1 } T = \frac{T1 - T2}{\ln \frac{T1}{T2}}$$

$$T = \frac{99 - 93}{\ln \frac{99}{93}} = 95.95^\circ\text{F}$$

$$\frac{99}{93}$$

$$T = 95.97^\circ\text{F}$$

Cálculo de la densidad de corriente (D_c)

$$D_c = \frac{1}{2} \left[\frac{(0.396T + 10.2 - 0.51) \text{ dc}}{12} + \frac{(0.266 T + 10.7 - 0.335) \text{ dc}}{12} \right] \dots (9.2)$$

$$d_c = 50 \text{ MA/M}^2 \text{ (4.645 MA/ft}^2\text{)}$$

Este valor es dado por el código DNV (7) Tabla D.1 Apéndice-D

$$T = 95.97^\circ\text{F} \text{ (35.54}^\circ\text{C)}$$

$$D_c = \frac{13.272}{2} = 6.63605 \text{ MA/ft}^2 \text{ (71.42 MA/M}^2\text{)}$$

Calculo de requerimiento de corriente (I_t)

$$I_t = \pi(\phi) \text{ tub} (l_t) (D_c) (\% \text{ de area descubierta}) (\gamma) \dots (3.9)$$

$$\gamma = 50\% \text{ factor de diseño (33)}$$

$$I_t = 200 \text{ Amp.}$$

Cálculo del material anódico (W_t)

$$W_t = \frac{I_t (\text{años de servicio})}{\text{Capacidad de corriente del ánodo}}$$

$$W_t = \frac{200 \text{ Amp} (175200 \text{ Hr})}{881 \frac{\text{Amp-Hr.}}{\text{Kg}}} = 39783.64 \text{ Kg.}$$

Dimensionamiento del ánodo.

Cálculo del perímetro interno (Pi) del ánodo

E = Espesor del recubrimiento

\emptyset Tub = 0.9144 mts.

Pi = $\pi(\emptyset \text{ tub} + 2 E)$

$$= 3.1416 (0.9144 \text{ mt} + 2 (0.003968 \text{ mt}))$$

Pi = 2.8976 mts.

Cálculo del perímetro externo (Pe) del ánodo

Espesor del ánodo ⁽²⁷⁾ = 79.37 mm. (3.125 Pulg).

Pe = $\pi(\emptyset \text{ tub} + 2 E_{\text{rec}} + 2E \text{ ánodo})$

$$= 3.1416 (0.9144 + 2 (0.003968 \text{ mts}) + 2 (0.07937 \text{ mts}))$$

Pe = 3.3963 mts.

Cálculo del área del ánodo

A = B x H

Donde:

$$B = \frac{P_i + P_e}{2}$$

H = Espesor del ánodo

H = 0.07937 mts.

A = 0.2497 mts²

Cálculo del volumen

V = A x L

L = Longitud del ánodo

$$L = 0.3048 \text{ mts.}$$

$$V = (0.2497 \text{ mt}^2) (0.3048 \text{ mt.})$$

$$V = 0.076129 \text{ mt}^3$$

Cálculo del peso del ánodo

$$\rho = \frac{m}{V} \quad m = \rho V$$

Anodo tipo galvalum III

$$\rho = 2834 \text{ Kg/mt}^3$$

$$m = (2834 \text{ Kg/mt}^3) (0.076129 \text{ mt}^3) = 215.74 \text{ Kg.}$$

$$m = 216 \text{ Kg.}$$

Cálculo del número de ánodos (No).

$$No = \frac{Wt}{m \text{ anodo}} = \frac{39783.64 \text{ Kg}}{216 \text{ Kg}} = 184.183$$

$$No = 184 \text{ Anodos}$$

Espaciamiento entre ánodos (d)

$$L = 13000 \text{ mts.}$$

$$No = 184 \text{ anodos}$$

$$d = \frac{13000 \text{ mts}}{184 \text{ anodos}} = 70.65$$

$$d = \frac{70.65 \text{ mts}}{\text{anodo}}$$

Contando con el mismo razonamiento anterior para determinar el espaciamento real entre los ánodos se tiene:

$$\text{tramo tubo} = 12.19 \text{ mts.}$$

$$\text{No tramos} = \frac{70.65}{12.19} = 5.795 \text{ tramos de tubo}$$

Espaciamiento real de los ánodos es 6 tramos x 12.19 = 73.14 mts.

Número real de ánodos

$$N = \frac{13000 \text{ mts}}{73.14 \frac{\text{mts}}{\text{anodo}}} = 177.77 \approx 178 \text{ Anodos}$$

La masa real total será:

$$W_t = 178 \text{ ánodos} \times 216 \text{ Kg.} = 38448 \text{ Kg.}$$

Dimensionamiento del sistema de protección catódica para la sección de 33 + 000 a 64+000 Km.

Díametro de la tubería 0.9144 mt. (36 Pulg).

Longitud 31000 mts.

$$T_1 = 93^\circ\text{F en } 33+000 \text{ Km (Fig. 9.5)}$$

$$T_2 = 85^\circ\text{F en } 64+000 \text{ Km (Fig. 9.5)}$$

$$T = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1}{T_2}} = \frac{93 - 85}{\ln \frac{93}{85}} = 88.94^\circ\text{F}$$

$$T = 88.94^\circ\text{F (31.63}^\circ\text{C)}$$

Cálculo de la densidad de corriente (Dc) de la ecuación 9.2

$$D_c = 6.134 \text{ mA/ft}^2 \text{ (66.02 mA/M}^2\text{)}$$

Cálculo del requerimiento de corriente de la ecuación 3.9

$$I_t = \pi (\phi_{\text{tub}}) (l_{\text{tub}}) (D_c) (5\%) (\gamma)$$

$$I_t = 3.1416 (0.9144 \text{ mt}) (31000 \text{ mt.}) (66.02) (0.05) (1.5)/1000$$

$$I_t = 440.94 \text{ Amp.}$$

Cálculo de la masa anódica

$$W_t = \frac{I_t (175200 \text{ Hr})}{881 \frac{\text{Amp-Hr}}{\text{Kg}}} = \frac{440.94 \text{ Amp} (175200 \text{ Hr})}{881 \frac{\text{Amp-hr}}{\text{Kg}}} = 87687.5 \text{ Kg}$$

$$W_t = 87687.5 \text{ Kg}$$

Area del Anodo

Perímetro interno del ánodo será igual al del caso anterior

$$P_i = 2.8976 \text{ mts.}$$

Perímetro externo (Pe) del ánodo será

$$E \text{ ánodo} = 114.3 \text{ mm. (4.5 Pulg).}$$

$$P_e = \pi(\phi_{\text{tub}} + 2 E + 2 E \text{ anodo})$$

$$P_e = 3.1416 (0.9144 \text{ mt} + 2 (0.003968 \text{ mt}) + 2 (0.1143 \text{ mt})) =$$

$$P_e = 3.6157 \text{ mt.}$$

Cálculo del área del ánodo (A)

$$A = B \times H$$

Donde:

$$B = \frac{P_i + P_e}{2} = \frac{2.8976 + 3.6157}{2} = 3.2566 \text{ mts.}$$

$$H = \text{Espesor del ánodo}$$

$$A = 3.2566 \times 0.1143 \text{ mts.} = 0.3722 \text{ mt}^2$$

$$A = 0.3722 \text{ mt}^2$$

Cálculo del volumen del ánodo (V)

$$V = A \times L$$

$$L = 0.3048 \text{ mt (12 Pulg) longitud del ánodo}$$

$$V = 0.3722 \times 0.3048 \text{ mts} = 0.11344 \text{ mt}^3$$

$$V = 0.11344 \text{ mt}^3$$

Cálculo del peso del ánodo

$$\rho = \frac{m}{v} \quad m = \rho \cdot v$$

$$\rho = \frac{2834 \text{ Kg}}{\text{mt}^3}$$

$$m = \frac{(2834 \text{ kg})}{\text{mt}^3} (0.11344 \text{ mt}^3)$$

$$m = 321.5 \text{ Kg.}$$

Número de ánodos total (No)

$$No = \frac{W_t}{m} = \frac{87687.5}{321.5} = 272.73 \approx 273$$

$$No = 273 \text{ ánodos}$$

Espaciamiento entre ánodos (d)

$$L = 31000 \text{ mts.}$$

$$No = 273$$

$$d = \frac{31000}{273} = 113.55 \text{ mts.}$$

$$d = 113.55 \text{ mts/ánodo}$$

Espaciamiento entre ánodos es 113.55 o cada 9.31 tramos se localizará un ánodo. Por lo que se tomará a cada 9 tramos, el espaciamento final entre ánodos es de 109.71 mts. por lo tanto se requieren 283 ánodos.

INSTALACION Y PRUEBA.

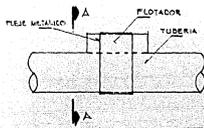
La instalación del gasoducto deberá realizarse con una barcaza que cuente con un sistema de navegación de alta precisión de manera tal que asegure la correcta colocación de la tubería en el lugar indicado.

En la operación del tendido del gasoducto se deberá de reducir la concentración de esfuerzos, por lo que es necesario hacer uso de una rampa de lanzamiento de ángulo controlable, que se prolongue hacia el mar Fig. 9.6.

A pesar de estas precauciones se genera en esta etapa, esfuerzos de flexión que pueden ocasionar a la tubería deformaciones del ducto, desprendimiento y pérdida del lastre de concreto, así como un agrietamiento excesivo del mismo, de estos tres tipos de daños, el tercero ocurre antes que los dos primeros. Por esta razón el procedimiento de tendido se debe de realizar de modo que se evite el excesivo agrietamiento, quedando así descartado el que se presenten los otros dos tipos de daños.

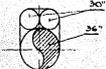
La tubería se acostumbra enterrarla para asegurar su protección contra el peligro de huracanes, corrientes de arrastre, anclas de barcos o cualquier otro fenómeno que pueda alcanzar el fondo del mar. Para ejecutar esta operación se combina el efecto de chorro de agua con aire a alta presión y bombeo para eliminar el material desprendido.

Mediante este sistema se forma una zanja bajo la tubería, hundiéndose ésta e inmediatamente se acumula la capa de lodo sobre la misma.

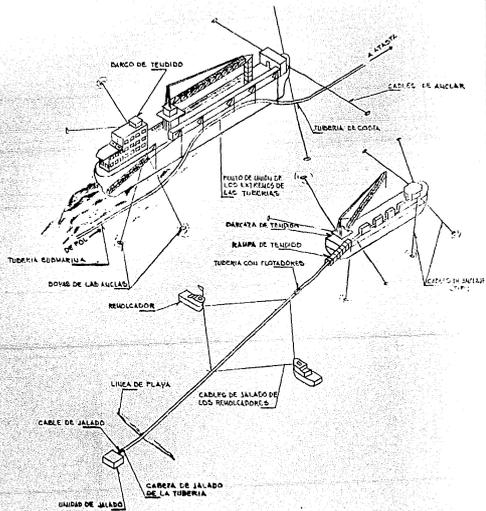
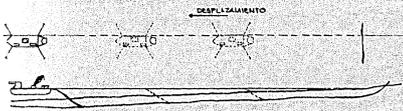


LOS FLOTADORES DENTRO DE TUBERIA DE
 800 DE DIAMETRO Y 1000 DE ESPESOR EN
 TRAMOS DE 1.50 m. O OTROS ADIANTADOS
 CON LA MISMA FLOTABILIDAD.

UNION DE EXTREMOS DE TUBERIA



VISTA A-A



UNAM	FAC. DE EST. SUPERIORES CUAUTITLAN
INSTALACION DE TUBERIA	
J. FIDEL GUADARRAMA MUÑOZ	TESIS
J. LUIS OLIVA BOVER	FIG. No. 96

Al terminar la operación de instalación de la línea, debe limpiarse de toda clase de desechos que pudiera tener en su interior. Mediante un diablo de desplazamiento positivo y enseguida debe inspeccionarse la integridad de la línea, pasando un diablo de calibración con un plato de medición.

El diablo de limpieza y el de calibración deberán de mantener una separación de 1.6 Km. cuando esten pasando por la tubería.

Estos diablos de calibración y medición deberán tener un diámetro equivalente al 95 por ciento del diámetro interno de la tubería. El de calibración debe de registrar continuamente las dimensiones radiales internas de la tubería -- identificando las deformaciones (abolladuras, pandeos, partes planas, etc.), respecto a un punto de referencia lineal conocido. Los dos diablos deberán de retirarse de la tubería antes del inicio de la prueba hidrostática.

AGUA DE PRUEBA HIDROSTATICA

El agua de prueba deberá estar limpia y libre de materia en suspensión. Si el agua de prueba ha de estar más de 20 días dentro de la tubería, deberá de inyectársele un inhibidor de corrosión y un eliminador de oxígeno disuelto en el agua y habrá que mezclarse de manera que ofrezca protección uniforme a toda la tubería.

CAPITULO X

ASPECTOS ECONOMICOS

Generalidades

El costo de la corrosión y los métodos para combatirla son preocupación creciente, para los países industrializados puesto que los adelantos tecnológicos que continuamente se logran, son aplicados a los nuevos procesos en donde algunos de los casos aceleran los efectos destructivos de los materiales, en su mayoría ferrosos, con el consiguiente deterioro de recursos.

El costo que implica el fenómeno de corrosión no solamente incide en el valor de reposición de bienes de capital, sino también en la disminución del producto y la implicación de riesgos para la comunidad, así como efectos que repercuten en la ecología.

10.1 Evaluación Económica.

Es importante que en el desarrollo de la evaluación económica del proyecto se contemple los costos por concepto de los materiales del sistema de protección catódica del gasoducto, por lo que a continuación se realiza un desglose de los costos que se incurrirá.

10.1.1 Inversión Inicial

Los costos de inversión inicial se limitan aquellos gastos que sola-

mente se presentan una vez en cualquier actividad. La inversión inicial la constituye la adquisición del material anódico, material de recubrimiento anticorrosivo, material de lastre, así como el de preparación de la superficie exterior de la tubería, y el costo correspondiente al flete a Ciudad del Carmen.

- Origen de la tuberfa	Monterrey, N. L. México.
- Destino	Cd. del Carmen
- Distancia	1830 Kms.
- Cantidad transportada	5,333 tramos de tuberfa de 0.9144 mt. de diámetro lastrada de longitud 12.19 mts. (40 pies).
- Espesores del lastre	De 0 + 000 a 33 + 000 Kms. se tiene 79.37 mm. (3.125 Pulg) De 33+ 000 a 64 + 000 Kms. se tiene 101.6 mm (4.5 Pulg)
- Costo por metro de tuberfa	\$ 180,000.00 M.N.
- Costo por tramo de tuberfa	\$ 2'160,000.00 M.N.
- Costo total de los 64 Kms. de tuberfa.	\$11'519,280.00 M.N.
- Peso por metro de tuberfa	= 421.5 Kg/Mt.
- Peso por tramo de tuberfa sin lastrar.	= 5,058 Kg.
- Con lastre de 79.37 mm.	7.8 TN + 5.058 TN = 12.858 TN
- Con lastre de 101.6 mm.	10.0 TN + 5.058 TN = 15.058 TN
- Peso total de los 5,333 tubos con lastre.	35,359.50 TN + 38,750 TN = 74,109.50 TN.
- Costo del lastre de concreto	\$ 365,000.00 TN.

- Costo del lastre de concreto por tramo de tuberfa (79.37 mm.)	(\$365000/TN) (7.8 TN) =	\$ 2'847,000.00
(101.6 mm.)	(\$365000/TN) (10 TN) =	\$ 3'650,000.00
- Costo total (del lastre de concreto).	\$ 2'847,000 x 2750 =	\$ 7'829,250,000
	\$ 3'650,000 x 2583 =	<u>\$ 9'427,950,000</u>
	Total:	<u>\$17'257,200,000</u>

- Costo total de la tuberfa lastrada.	\$11'519,280,000
	+ <u>17,257,200,000</u>
	\$28'776,480,000 M.N.

Cálculo del Costo del Flete

- Clasificación de la tuberfa	Tercera clase.
- Factor por Ton. - Distancia para 1830 Km.	\$14,998.00 M.N.
	(TN Totales) (14998) = (74109.5 TN) (14998) =
	1'111,494,281.00 M.N. Costo Total del Flete
- Factor de tercera clase	\$ 7,098 mm/Km-Ton.
- Factor fijo por Ton.	\$ 2,008.64 mm/Ton.

- Costo del Flete $(7.098 \frac{\text{mm.}}{\text{Ton-Km}}) (1830 \text{ Km}) + 2008.64 \frac{\text{mm.}}{\text{Ton.}} =$
 $\$ 14,997.98 \frac{\text{M.N.}}{\text{Ton.}}$
- Costo por sellado para 1830 x m
 corresponde $\$ 31.35 \frac{\text{M.N.}}{\text{Ton.}}$
- Costo total de sellado $\$ (31.35 \frac{\text{M.N.}}{\text{Ton.}}) (74109.5 \text{ Ton}) = \$ 2'323,332.82 \text{ M.N.}$
- Costo de documentación para 1830
 Km. corresponde $\$ 31.35 \frac{\text{M.N.}}{\text{Ton.}}$
 $(\$31.35 \frac{\text{M.N.}}{\text{Ton.}}) (74109.5 \text{ Ton}) = \$ 2'323,332.82 \text{ M.N.}$
- Costo por coordinación
 Distancia 1830 Km corresponde $\$ 156.77 \frac{\text{M.N.}}{\text{Ton.}}$
 $(\$156.77 \frac{\text{M.N.}}{\text{Ton.}}) (74109.5 \text{ Ton}) = 11'618,146.32 \text{ M.N.}$
- Costo por uso exclusivo. $(\text{Costo flete}) (0.25) = \$ 1'111,494,281.00 \text{ M.N.}$
 $(0.25) = 277,873,570.30 \text{ M.N.}$

- Cuota por remesa	
Destino Ciudad del Carmen	
Grupo D.	\$ 611.00 $\frac{\text{M.N.}}{\text{Ton}}$
- Costo por derecho de vía	(Costo flete total) (4%) = (1'111,494,281.00 M.N.) (0.04) = \$ 44'459,771.20
- Costo del seguro	(Costo de la tubería lastrada) (0.003) = (28'776,000.000 M.N.) (0.003) = \$ 86'328,000.00 M.N.
- Costo global del flete	= 1'111,494,281 MN + 611 MN + 11'618,146.30 MN + 277'873,570.30 MN + 44'459,771.20 MN + 86'328,000.00 = 1'531,774,379

COSTOS DE LIMPIEZA DE LA TUBERIA CHORRO DE ARENA EN ACABADO METAL BLANCO

KMS DE TUBERIA POR LIMPIAR	DIAM. DE LA TUBERIA	AREA EXT. DE TUBERIA MILES DE W/ KM	COSTO POR LIMPIEZA CON CHORRO DE ARENA			COSTO TOTAL DE LIMPIEZA POR KM. MILES \$ / KM	COSTO TOTAL POR LIMPIAR LOS 64 KM.
			50 % POR MAT. MILES \$ / KM	30 % POR EQUIPO MILES \$ / KM	20 % POR MANO DE OBRA MILES \$ / KM		
64	36"	2.87	812.56	485.04	390.03	1697.63	\$ 108'648320.00

COSTOS DE MATERIAL DE RECUBRIMIENTOS

KM. DE TUB. POR RECUB.	PRIMARIO UNISEC		COSTO TOTAL DEL PRIMARIO EN LOS 64 KM	KM. DE TUB. POR RECUB.	ESMALTE PROTENA 280.		FIBRA DE VIDRIO FLEK		
	RENDIMIENTO LT/ KM.	COSTO MILES \$ / KM			RENDIMIENTO TON/ KM.	COSTO MILES \$ / KM	RENDIMIENTO ROLLOS/ KM	DIMENSIONES	COSTO MILES \$ / KM
64	221	744.04	\$ 47818560.00	44	15.5	2738.85	24	18"X1000'	319.20

VIDRIO MAT.			COSTO TOTALES DE LOS MATERIALES. MILES \$ / KM	COSTO TOTAL DE LOS RECUBRIMIENTOS PARA LOS 64 KM.
RENDIMIENTO ROLLOS/ KM.	DIMEN. CIONES	COSTO MILES \$ / KM		
60	18"X400'	540.590	4342.68	\$ 191077920

COSTOS POR EQUIPO UTILIZADO EN EL RECUBRIMIENTO Y MANO DE OBRA.

EQUIPO		MANO DE OBRA		KM. POR UTILIZAR EQUIPO Y MANO DE OBRA	COSTO POR UTILIZACION DE EQUIPO	COSTO POR MANO DE OBRA	COSTO TOTAL POR EQUIPO Y MANO DE OBRA
RENDIMIENTO MTS. DE TUB/ JORN.	COSTO MILES \$ / KM	RENDIMIENTO MTS DE TUB/ JORN.	COSTO MILES \$ / KM				
85	1,017.98 MN	85	1,336.42 MN.	64	865'150720.00 MN	\$ 66746880.00 MN.	\$ 239644480.00 MN.

COSTO POR MATERIAL ANODICO

TRAMO DE TUBERIA	PESO DEL ANODO	No. ANODOS	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
0 + 000 Km. A 0 + 200 Km.	GALVALUN III 216 Kgr.	328	\$ 146,000 M.N.	47'888,000.00
20 + 000 Km. A 33 + 000 Km.	GALVALUN III 216 Kgr.	178	\$ 146,000 M.N.	25'988,000.00
33 + 000 Km. A 64 + 000 Km.	GALVALUN III 321 Kgr.	283	\$ 218,000 M.N.	60'848,000.00
TOTAL.				134'724,000.00

CONCLUSIONES.

De acuerdo a ciertas ventajas claves que presenta el sistema de protección catódica por ánodos galvánicos en medio marino sobre el de corriente impresa, a continuación se mencionan:

- a). El sistema de protección no requiere de una fuente externa de corriente eléctrica.
- b). No requiere de un conductor eléctrico (cable) para llevar la energía al punto deseado.
- c). La cantidad de corriente que drenan los ánodos galvánicos, es la suficiente para proteger la estructura sin que produzca corrientes extra-aviadas, que puedan dañar a otras estructuras vecinas.
- d). Su instalación es relativamente sencilla y se puede hacer modificaciones hasta obtener el efecto deseado.
- e). Requiere de un mínimo de mantenimiento e inspección.
- f). Para el caso en que un ánodo galvánico quedara fuera de servicio, la longitud de tubería sin proteger sería mínima.

En base a lo anterior y por experiencias de proyectos similares se optó por hacer el dimensionamiento del sistema de protección catódica por ánodos galvánicos.

En cuanto al recubrimiento anticorrosivo se decidió aplicarlo básicamente, para aislar el gasoducto del medio, así como disminuir al mínimo la cantidad de área expuesta, y de esta manera obtener bajos requerimientos de corriente, y material anódico.

B I B L I O G R A F I A

1. A.M. NIVILLE Properties of Concrete.
Second Edition. Pitman Paperbacks 1973.
2. ASTM-C-29-78 Especific. Estandar para Agregados Pesados
en Cemento.
3. ASTM-C-33-74A Especificación Estandar para Agregados de
Concreto.
4. ASTM-C-150-73A Especificación Estandar para Cemento Por-
tland.
5. A.W. PEABODY Control of Pipe-Line Corrosion.
6. CHARLES R. MARTENS Emulsion and Water-Soluble Paints and --
Coatings. 2nd. Printing.
7. DEREK PLETCHER Industrial Electrochemistry First Publi-
shed. By Chapman and Hall Ltd, 1982.
8. DIARIO OFICIAL Diario Oficial
9. D. STEWART Principles of Corrosion and Protection
D.S. TULLDCH Macmillan and Cd. Ltd. 1968.
10. DAW MORAN Monitoring Cathodic Protection
CORRINTEC UK LIMITED The Dilman September 1984
11. DET NORSKE VERITAS Cathodic Protection of Hot Oil Pipe-Line,
Current Density and Potencial-Design Con-
siderations. Rev. A, Julio 1980.
12. DET NORSKE VERITAS Rules for Submarine Pipe-Line
Systems, 1981.

13. DET NORSKE VERITAS Offshore Inservice Inspection and Monitoring, a Basis for Efficient Operation and Maintenance.
Veritas Conference 27TH-28 TH
November 1979 Havik Oslo.
14. DET NORSKE VERITAS Inservice Inspection of Fixed Structures, Pipe-Line, Pipeline Risers, and Mana Buays
1981.
15. F.M. LEA, C.B.E., D.
5c., F.R.I.C. Chemistry of Cement and Concrete Second Edition. Edward Arnold (Publishers) Ltd
1956.
16. FRANCIS L. LAQUE Marine Corrosion, Causes and Prevention.
John Wiley and Sans. 1975
17. GARY N. KIRBY How to Select Materials.
Chemical Engineering
November 3, 1980.
18. HERBERT H. UHLIG Corrosion and Corrosion Control
Second Edition John Wiley and
Sons, 1971.
19. HERBERT H. UHLIG Corrosion Handbook.
20. JOHN M. WEST Basic Corrosion and Oxidation.
21. J.C. SCULLY The Fundamentals of Corrosion
2nd. Edition Pergamon Press, 1975.

22. JOSE R. GALVELE Corrosion, Monografía No. 21 Serie de Química. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Programa - Regional de Desarrollo Científico y Tecnología. Washington D.C. 1979.
23. JOHN A. WHITE Principles of Engineering Economic
MARVIN H. AGEE Analysis.
KENNETH E. CASE John Wiley and Sons Inc. 1977.
24. K. I. RHADES Pipe-Line Protective Coatings Used In. Saudi Arabia. Oil And Gas Journal. Ang 2 1982 Technology.
25. MARSHALL E PARKER Corrosion by Soils
Nace Basic Corrosion Course.
26. MARS G. FONTANA Corrosion Engineering
NORBERT D. GREENG Mc Graw-Hill Series.
27. NACE EDUCATION Corrosion Prevention and Protection
(NACE COUSE &) Cathodic.
28. NORMA PEMEX 2.132.01 Sistema de Protección Anticorrosiva a Base de Recubrimientos.
29. NORMA PEMEX 2.135.01 Sistema de Protección Catódica.
30. NORMA PEMEX 2.374.01 Proyectos de Redes de Distribución de Gas Natural.
31. NORMA PEMEX 3.112.03 Recubrimiento Continuo de Concreto en Tuberias de Conducción.

32. NORMA PEMEX 3.132.01 Aplicación de Recubrimientos para Protección Anticorrosiva.
33. NORMA PEMEX 3.135.01 Instalación de Sistemas para Protección Catódica.
34. NORMA PEMEX 3.374.01 Sistema de Transporte de Petróleo por Tubería Aplicación. Protección Anticorrosiva con Cinta Adhesiva de Polietileno.
35. NORMA PEMEX 4.132.01 Recubrimiento para Protección Anticorrosiva.
36. OFFSHORE Corrosion Study Rates Protective Methods. February 1983.
37. RAGNAR MAILAN Design Criteria Examined Far Cathodic Protection of Hot Submarine Pipeline
SVEIN ELIASSEN Oil & Gas Journal Feb. 20 1984.
Technology.
38. RICHARD M. VENNETT Cathodic Protection of a Hot Riser in
CONTINENTAL OIL COMPANY Cold Sea Water. National Association
PONCA CITY OKLAHOMA. of Corrosion Engineers Nov. 1979.
39. RAYMOND R. MYERS Formulations Part 1.
J.S. LONG. Treatise on Coating 1 Vol 4.
Marcel Dekker, Inc. 1975.
40. RAYMOND R. MYERS Pigments, Part 1.
J.S. LONG. Treatise on Coating/Vol 3.
Marcel Dekker, Inc. 1975.

41. RAYMOND R. MYERS Characterization of Coatings
J.S. LONG. Physical Techniques Part II.
Marcel Dekker Inc. 1975
42. R. M. BURNS Protective Coating for Metals
Second Edition Reinhold
Publishing Corporation. 1959
43. SPELLER FRANK N. Corrosion Causes and Prevention and
Engineering.
44. ULICK R. EVANS, SC.D., The Corrosion and Oxidation of Metals
F.R.S., F.I.M. Edward Arnold (Publishers) Ltd. 1977
45. ULICK R. EVANS An Introduction to Metallic Corrosion
Edward Arnold (Publishers)
Ltd. Third Edition 1981.
46. VENNETT R.M. Cathodic Protection of a Hot Oil Pipeline
Current Density and Potential-Design
Considerations.
Addendum A March 27, 1980.
47. NATIONAL ASSOCIATION OF Corrosion Control in Petroleum Production
CORROSION ENGINEERS (NACE) Copyright 1979.
48. CENTRE NATIONAL POUR Corrosion Marine Moyens de Protection
L'EXPLOITATION DES OCEANS Colloque International Cefra Cor 74
4-7 Juin 1974.