



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROTECCION CATODICA PARA LA LINEA DE
TRANSMISION DE 115 KV TUXPAN P. V. - TUXPAN II

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a

GASTON MARTINEZ TEJADA

Director de tesis: Ing. David Vázquez Ortiz



México, D. F.

1989

FALLA DE ORIGEN



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

INTRODUCCION	1
CAPITULO I CARACTERISTICAS DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V.-TUXPAN II	
I.1 DESCRIPCION DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V.- TUXPAN II	2
I.2 SITUACION GEOGRAFICA	6
I.2.1 Localizacion	6
I.2.1 Condiciones climatologicas	6
CAPITULO II FUNDAMENTOS DE LA CORROSION	
II.1 EL PROBLEMA DE LA CORROSION	9
II.1.1 La importancia de la corrosion	11
II.2 PRINCIPIOS DE LA CORROSION	14
II.2.1 Principios electroquimicos	14
II.2.2 Definicion de catodo y anodo	16
II.2.3 Tipos de pilas	17
II.2.4 Tipos de corrosion	17
II.3 TENDENCIA A LA CORROSION	20
II.3.1 Variacion de la energia libre	20
II.3.2 Medicion de la fem	20
II.3.3 Potenciales de electrodos ecuacion de Nerst	21
II.3.4 El electrodo y la serie normal de Hidrogeno	23
II.3.5 Convencion de signos	24
II.3.6 Medida del ph	25
II.3.7 Serie Electroquimica y serie Galvanica ..	25
II.3.8 Semipilas de referencia	27
II.3.9 Polarizacion y velocidades de corrosion ..	27
II.3.10 Influencia de la polarizacion en la velocidad de corrosion	30
CAPITULO III CONTROL DE LA CORROSION	
III.1 RECUBRIMIENTOS METALICOS	32
III.1.1 Clasificacion de los recubrimientos ...	33

III.2	RECUBRIMIENTOS INORGANICOS	34
	III.2.1 Esmaltes Vitreos	34
	III.2.2 Recubrimientos de cemento Portland	35
	III.2.3 Recubrimientos obtenidos por transforma- cion quimica	36
III.3	RECUBRIMIENTOS ORGANICOS	37
	III.3.1 Revestimientos plasticos	39
III.4	PROTECCION CATODICA	39
	III.4.1 Aplicacion de la proteccion catodica ..	41
	III.4.2 Proteccion catodica en combinacion con re- cubrimientos	43
	III.4.3 Magnitud de la corriente requerida	44
	III.4.4 Criterios de proteccion	44
	III.4.5 La sobreproteccion	45
	III.4.6 Medidas de potencial	45
	III.4.7 Analisis comparativo de los sistemas de - proteccion catodica	46
III.5	COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA.	47
	III.5.1 Anodos Galvanicos	47
	III.5.2 Anodos Inertes	51
	III.5.3 Materiales complementarios	53

**CAPITULO IV DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA EN LA LINEA-
DE TRANSMISION TUXPAN P.V -TUXPAN II**

IV.1	NECESIDAD DE LA PROTECCION CATODICA EN LA LINEA DE - TRANSMISION TUXPAN P.V.-TUXPAN II	57
IV.2	PARAMETROS DE DISEÑO EN LA LINEA DE TRANSMISION TUX- PAN P.V -TUXPAN II	59
	IV.2.1 Resistividad del terreno	59
	IV.2.2 Medicion para la obtencion de la corriente- de proteccion catodica	64
	IV.2.3 Mediciones de potencial estructura-suelo ..	68
IV.3	SELECCION DE ANODOS A UTILIZAR	73
	IV.3.1 Anodos de Magnesio	73
	IV.3.2 Anodos de Zinc	76
IV.4	DISTRIBUCION E INSTALACION DE LOS ANODOS	78
IV.5	SUPERVISION DE LA INSTALACION Y AJUSTE DEL SISTEMA - DE PROTECCION CATODICA	85
	IV.5.1 Excavacion de cepas	85
	IV.5.2 Ranuracion para alambrado	86

	IV.5.3	Colocacion del anodo	86
	IV.5.4	Conexiones soldadas	86
	IV.5.5	Instalacion de resistencias	86
IV.6		TIPOS DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA INSTALADOS	87
IV.7		MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA	91

CAPITULO V ESTUDIO ECONOMICO DEL SISTEMA DE PROTECCION - CATODICA INSTALADO

V.1		COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA ...	96
	V.1.1	Costo del estudio de proteccion catodica a pie de torre y diseño	97
	V.1.2	Costo de excavacion	99
	V.1.3	Costo de soldadura y conexion de anodos ..	101
	V.1.4	Costo del relleno de cepas	103
	V.1.5	Costo de ajuste del sistema en campo	105
	V.1.6	Costo de materiales	107
V.2		COSTOS DIFERIDOS	109
V.3		RELACION PORCENTUAL DE LAS EROGACIONES RESPECTO A LA INVERSION TOTAL	109
V.4		COSTOS UNITARIOS	109
	V.4.1	Costo por anodo instalado	109
	V.4.2	Costo por estructura protegida	109

CAPITULO VI CONCLUSIONES 110

BIBLIOGRAFIA 116

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

EL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO ES EL DE ANALIZAR UN PROBLEMA MUY IMPORTANTE QUE AFECTA A LA INDUSTRIA EN GENERAL Y A LA INDUSTRIA ELECTRICA EN PARTICULAR, - ESTE PROBLEMA ES EL DE LA CORROSION.

EL MOTIVO PRINCIPAL QUE INDUCE A LA INVESTIGACION DE LOS FENOMENOS DE LA - - CORROSION SON LAS PERDIDAS ECONOMICAS QUE OCASIONA, CLASIFICADAS EN PERDIDAS DIRECTAS DEBIDAS AL COSTO DE REPONER ESTRUCTURAS O MAQUINARIA DARADAS; E INDIRECTAS DENTRO DE LAS QUE SE PUEDEN CITAR: INTERRUPCIONES EN LA PRODUCCION, PERDIDAS DE PRODUCTO Y OTRAS QUE EN CONJUNTO SON DE MAYOR MAGNITUD QUE LAS - DIRECTAS.

EN ESTE TRABAJO SE DEFINE EL PROBLEMA DE LA CORROSION QUE AFECTA A LAS LI - NEAS DE TRANSMISION ASI COMO LOS MEDIOS PARA PROTEGERLAS DE ESTE FENOMENO.

COMO EJEMPLO ESPECIFICO DEL PROBLEMA DE LA CORROSION, SE ANALIZA EL CASO DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V.-TUXPAN II Y SE DESCRIBE EL METODO EMPLEADO PARA SU PROTECCION.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN-
P.V. - TUXPAN III.1. - DESCRIPCION DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V.-TUXPAN II:

ESTA LINEA DE TRANSMISION ES DE UN NIVEL DE TENSION DE 115 KV, CUENTA. -
CON DOS CIRCUITOS Y UTILIZA CABLE CONDUCTOR CALIBRE 477 ACSR TA.

SU CONSTRUCCION SE DETERMINO EN BASE A LA NECESIDAD DE CONTAR CON ENER -
GIA ELECTRICA PARA LAS PRUEBAS DE ARRANQUE DE LAS UNIDADES UNO Y DOS DE LA - -
CENTRAL TERMOELECTRICA TUXPAN.

UNA VEZ QUE LA CENTRAL TERMOELECTRICA SE ENCUENTRE EN OPERACION, LA LI -
NEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II SE UTILIZARA PARA LA ALIMENTACION -
DE LOS SERVICIOS GENERALES DE LA PLANTA; ENTRE LOS QUE SE ENCUENTRAN; EL ALUM -
BRADO DE LOS CAMINOS DE ACCESO, EL ALUMBRADO DE LOS TALLERES, LA ALIMENTACION -
A LAS OFICINAS ADMINISTRATIVAS Y OTROS.

LA LONGITUD DE LA LINEA ES DE 16 KILOMETROS Y CONSTA DE 51 ESTRUCTURAS -
DE SOPORTE, CONSTRUIDAS EN PERFIL CONVENCIONAL DE ACERO AL CARBON GALVANIZADO.

EN LA CONSTRUCCION DE LA LINEA SE EMPLEARON LOS SIGUIENTES TIPOS DE TO -
RRE; TORRE 2P, TAD 30 2P, TAR 30 2P, TAD 60 2P, Y LA "A" MODIFICADA (56) CUYO -
PERFIL SE MUESTRA EN EL DIBUJO I.2.

LA TORRE "A" MODIFICADA (56) ES LA QUE SE EMPLEA EN EL TRAMO DE LA LI -
NEA QUE ATRAVIESA LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO,

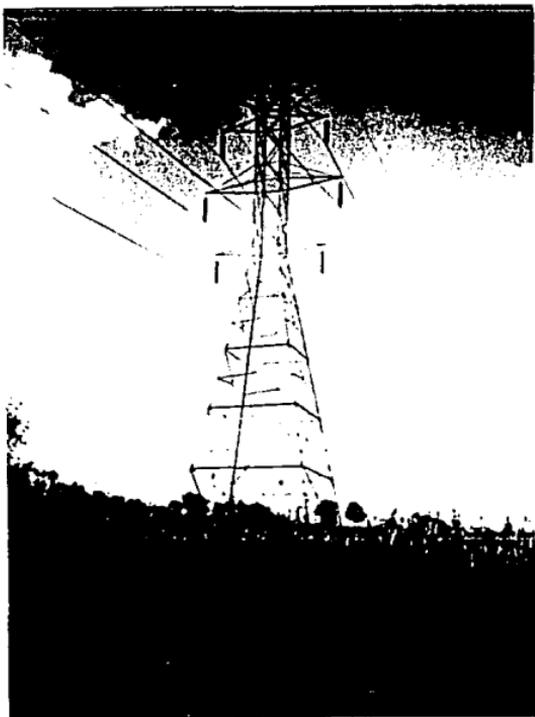
EN LAS FOTOGRAFIAS I.1b y I.1.c, SE MUESTRAN ASPECTOS DE LA LINEA QUE --
NOS OCUPA.



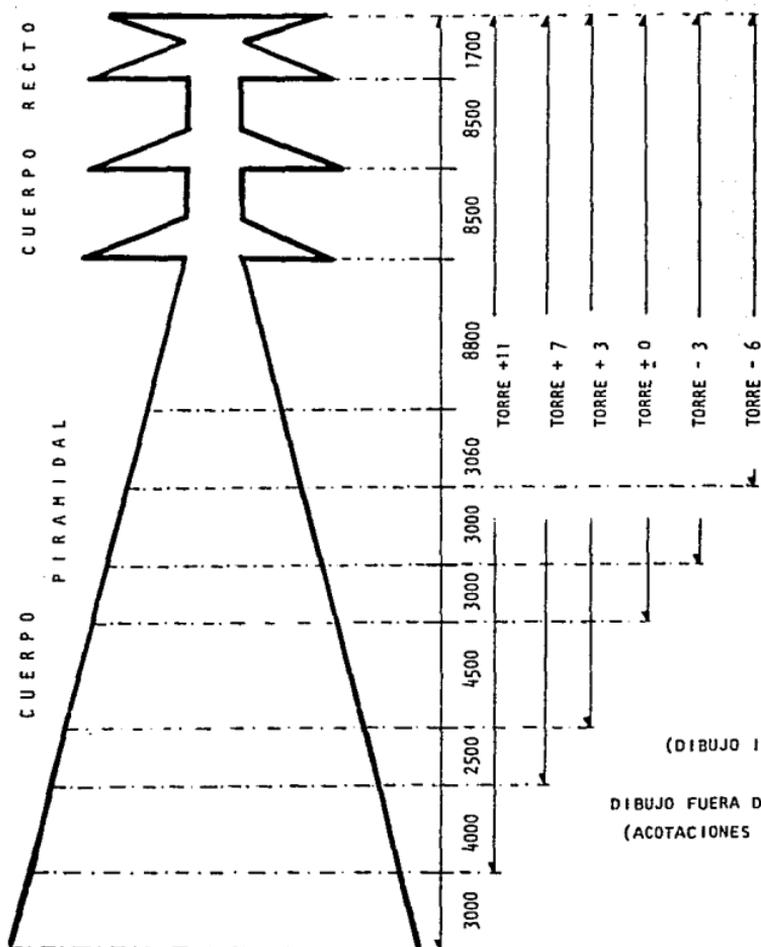
FOTOGRAFIA 1.1.a



FOTOGRAFIA 1.1.b



FOTOGRAFIA 1.1.c



(DIBUJO 1.2)

DIBUJO FUERA DE ESCALA
 (ACOTACIONES EN mm)

1.2. - SITUACION GEOGRAFICA

1.2.1. - LOCALIZACION

LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II SE LOCALIZA EN LA REGION COSTERA NORTE DEL ESTADO DE VERACRUZ RODEANDO LA POBLACION DE TUXPAN DE RODRIGUEZ CANO, CUYAS COORDENADAS GEOGRAFICAS SON:

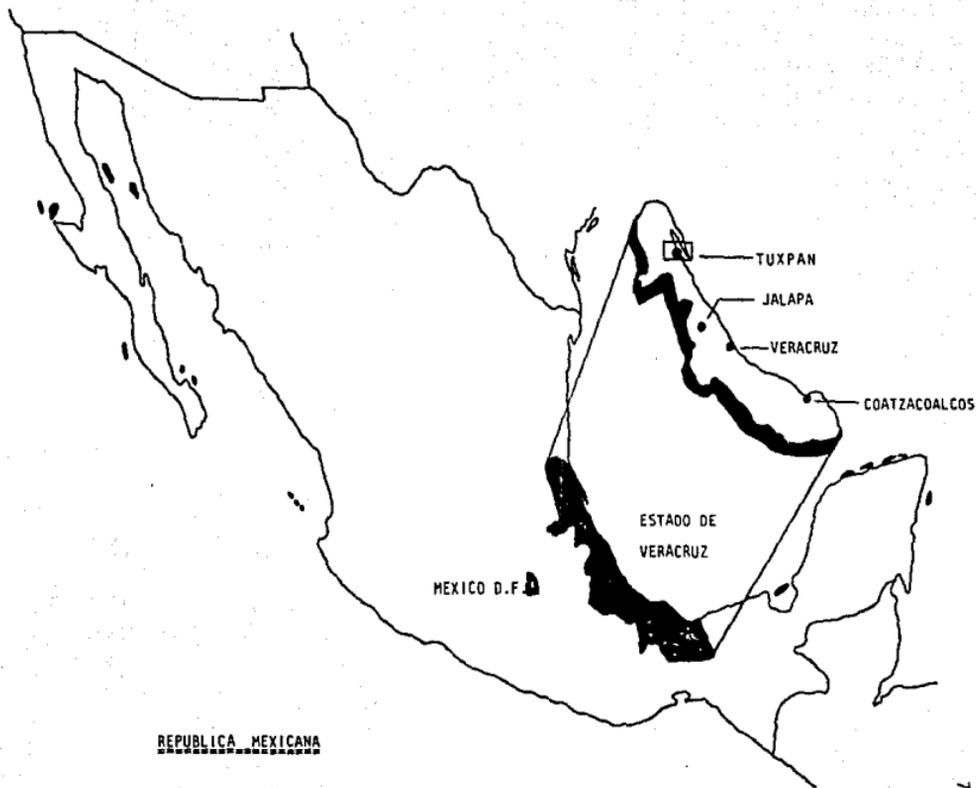
LATITUD: 21° 08.5' NORTE
LONGITUD: 97° 19.5' OESTE

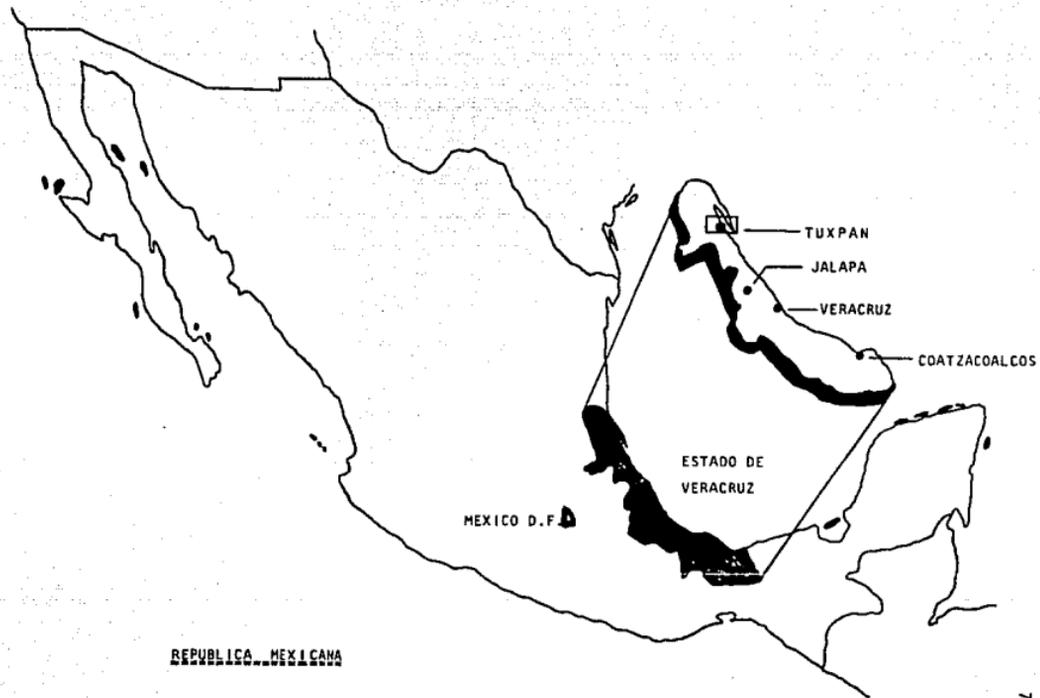
EN EL MAPA DE LA SIGUIENTE HOJA SE MUESTRA LA LOCALIZACION DE LA CIUDAD DE TUXPAN DENTRO DEL TERRITORIO DE LA REPUBLICA MEXICANA, Y EN EL MAPA QUE SIGUE A ESTE PRIMERO SE APRECIA UNA AMPLIACION DEL RECUADRO DONDE SE OBSERVA LA TRAYECTORIA DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II QUE VA DE LA C.T. TUXPAN A LA SUBESTACION TUXPAN II.

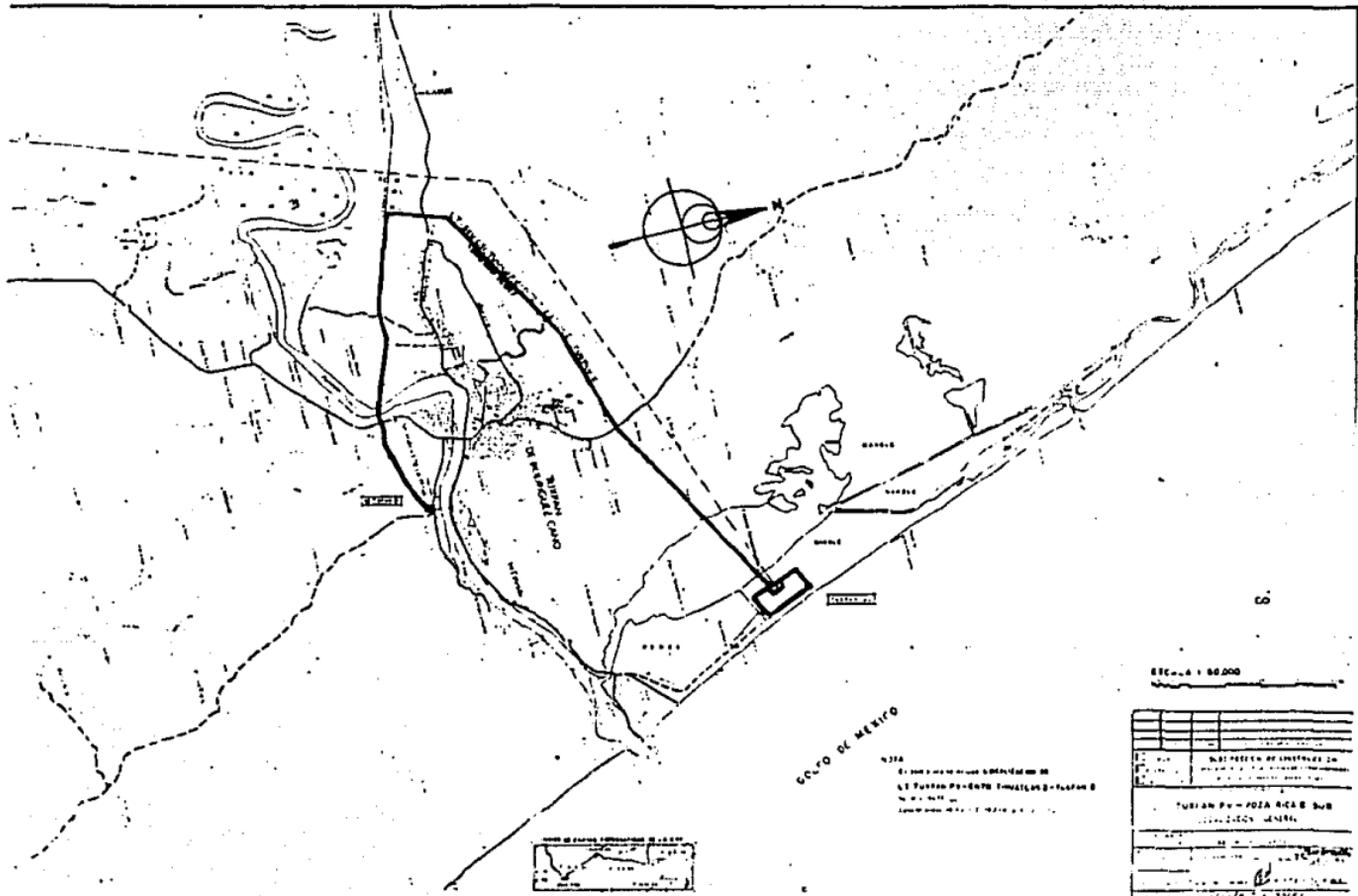
1.2.2. - CONDICIONES CLIMATOLOGICAS DEL SITIO

DE ACUERDO A DATOS PROPORCIONADOS POR EL GRUPO DE SELECCION DE SITIOS DE LA GERENCIA DE PROYECTOS TERMOELECTRICOS DE C.F.E. SE TIENE LO SIGUIENTE:

-PRESION BAROMETRICA KPa (mm Hg)	<u>101.25 (760)</u>
-TEMPERATURA DE DISEÑO	
a) BULBO SECO EN VERANO °C	<u>32.8</u>
b) BULBO SECO EN INVIERNO °C	<u>7.7</u>
c) BULBO HUMEDO °C	<u>29.2</u>
-HUMEDAD RELATIVA %	<u>97.2</u>
-ALTITUD MINIMA m/nivel del mar	<u>0.0</u>
-ALTITUD MAXIMA " "	<u>60.0</u>





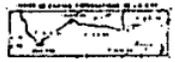


6.

ESCALA 1:80,000

GOLO DE MEXICO

7328
 ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
 EL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA
 No. 100 1000
 ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA	
SERIE DE MAPAS TOPOGRÁFICOS	
TERRAN PU - POZA RICA E SUR	
Escala 1:80,000	
No. 7328	
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	

CAPITULO II

FUNDAMENTOS DE LA CORROSION

II.1.-EL PROBLEMA DE LA CORROSION

LOS METALES, DEBIDO A SUS PROPIEDADES FISICAS DE DUREZA, DURABILIDAD, --
 DUCTILIDAD, RESISTENCIA AL DESGASTE, CONDUCTIVIDAD TERMICA Y ELECTRICA, SU --
 FACIL MANEJO POR FUNDICION, FORJADO Y EXTRUSION; SON EN LA ACTUALIDAD LOS --
 MAS IMPORTANTES MATERIALES DE CONSTRUCCION. EL PROGRESO DE LA HUMANIDAD DE-
 PENDE EN GRAN MEDIDA DEL DESARROLLO DE NUEVOS METODOS PARA LA EXPLOTACION DE-
 MINAS Y MEJORAMIENTO DE LA TECNOLOGIA DE PROCESOS DE PRODUCCION DE METALES. -
 LAS ESTRUCTURAS METALICAS CONSTRUIDAS POR EL HOMBRE NO SON PERMANENTES, Y --
 ESTO NO ES OCASIONADO UNICAMENTE POR EL DESGASTE NORMAL, SINO TAMBIEN POR EL --
 DETERIORO CON EL TIEMPO. LOS TRES TIPOS MAS IMPORTANTES DE DESTRUCCION DE-
 LAS ESTRUCTURAS METALICAS SON:

DESTRUCCION MECANICA: SE DEBE A LOS PROCESOS ELASTICOS O PLASTICOS DE-
 DEFORMACION. EJEMPLOS COMUNES SON: LA RUPTURA DE LA FLECHA DE UNA MAQUINA,
 LA RUPTURA DE UN CABLE. ESTAS FALLAS OCASIONAN QUE QUEDA FUERA UNA PARTE VA-
 LIOSA DEL SISTEMA DE QUE SE TRATE, PERO FRECUENTEMENTE PERMITE LA REUTILIZA-
 CION DEL MATERIAL DE LA PIEZA AFECTADA. POR EJEMPLO, EL ACERO DE UNA FLE-
 CHA ROTA SE PUEDE VOLVER A FUNDIR.

EROSION: SE TRATA DE LA DESTRUCCION GRADUAL DE LOS MATERIALES POR EL --
 DESGASTE MECANICO O POR ABRASION, COMO POR EJEMPLO EL ADELGAZAMIENTO QUE SU-
 FREN LAS VIAS DEL FERROCARRIL O LAS RUEDAS DEL MISHO, EL DESGASTE DE LOS --
 ANILLOS DE LOS PISTONES, LA ABRASION QUE SUFREN LOS ALABES DE LAS TURBINAS.

CORROSION: ES LA DESTRUCCION DE LOS METALES POR EL MEDIO AMBIENTE, - -

ATRAVES DE REACCIONES QUIMICAS O ELECTROQUIMICAS. EN EL PRIMERO DE LOS CASOS EL PROCESO SE REALIZA POR COMBINACION DIRECTA DEL METAL CON LA SUSTANCIA REACCIONANTE Y SE CONOCE COMO CORROSION SECA O CORROSION QUIMICA, MIENTRAS QUE EN EL SEGUNDO CASO, EL PROCESO ES DE NATURALEZA ELECTROQUIMICA Y SE DENOMINA CORROSION HUMEDA O CORROSION ELECTROQUIMICA. ESTA ULTIMA SE PRESENTA CUANDO EL METAL ESTA EN CONTACTO CON MEDIOS ELECTROLITICOS COMO EL AGUA, DISOLUCIONES SALINAS, LA HUMEDAD DE LOS SUELOS, ATMOSFERA ETC. EL DESGASTE DE UN PISTON ES UN EJEMPLO DE EROSION, MIENTRAS QUE SU ENMOHECIMIENTO LO ES DE CORROSION. EXISTE DIFICULTAD PARA DIFERENCIAR LOS FENOMENOS DE EROSION Y CORROSION YA QUE DE MANERA MUY FRECUENTE AMBOS SE PRESENTAN AL MISMO TIEMPO. UN EJEMPLO ES LA DESTRUCCION DE LAS HELICES DE LOS BARCOS.

A DIFERENCIA DE LA DESTRUCCION MECANICA, LOS FENOMENOS DE EROSION Y CORROSION ESTAN ASOCIADOS A LA DESINTEGRACION Y A LA OXIDACION DEL METAL CONSUMIDO Y MAS FRECUENTEMENTE A SU PERDIDA IRRECUPERABLE.

CUALQUIER MATERIAL DE CONSTRUCCION, O EN UNA FORMA MAS AMPLIA, CUALQUIER CUERPO SOLIDO SUFRE DETERIORO POR EROSION O CORROSION. POR LO QUE ES POSIBLE HABLAR DE LA CORROSION DEL CONCRETO O DE LA EROSION - CORROSION DE LA PIEDRA, DEL VIDRIO, ETC.

ADEMAS DE LOS TIPOS DE DESTRUCCION DE LOS MATERIALES QUE SE HAN MENCIONADO EXISTEN LA DESTRUCCION BIOLOGICA, O EL DETERIORO DE LA MATERIA ORGANICA POR LA ACCION DE LAS BACTERIAS O DE LOS INSECTOS.

EN MATERIALES PLASTICOS, HULES Y PINTURAS EL ENVEJECIMIENTO ES UN FACTOR IMPORTANTE EN SU DESTRUCCION YA QUE ESTE ES GRADUAL E IRREVERSIBLE, CAMBIA SUS ESTRUCTURAS INTERNAS Y POR LO TANTO SUS PROPIEDADES FISICAS.

EJEMPLOS DE ESTE TIPO SON EL DESGASTE DE LAS LLANTAS DE UN AUTOMOVIL Y EL RESQUEBRAJAMIENTO DE LAS CAPAS DE PINTURA.

ENTRE LOS TIPOS DE DESTRUCCION DE LOS METALES, LA CORROSION DE LOS METALES ES LA QUE HA ATRAIDO MAYORMENTE LA ATENCION. YA QUE UN GRAN NUMERO DE METALES Y SUS ALEACIONES SON EN LA ACTUALIDAD IMPORTANTES MATERIALES DE CONSTRUCCION.

POR ESTA RAZON EL ESTUDIO DEL PROCESO DE LA CORROSION ASI COMO EL DESARROLLO DE METODOS EFECTIVOS DE PROTECCION CONTRA LA CORROSION DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS ES UNO DE LOS PROBLEMAS MAS SIGNIFICATIVOS DE LAS ECONOMIAS NACIONALES.

11.1.1. LA IMPORTANCIA DE LA CORROSION:

LA IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE LA CORROSION ES DOBLE. PRIMERO FIGURA EL ASPECTO ECONOMICO QUE COMPRENDE LA REDUCCION DE LAS PERDIDAS DE MATERIALES QUE SE PRODUCEN POR EL DESGASTE PROGRESIVO O ROTURA REPENTINA DE LAS TUBERIAS, RECIPIENTES, COMPONENTES METALICOS DE MAQUINAS, CASCOS DE BUQUES, ESTRUCTURAS MARINAS, ETC. EN SEGUNDO TERMINO SE DEBE CONSIDERAR LA CONSERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES, APLICADA EN PRINCIPIO A LOS METALES, CUYA RESERVA MUNDIAL ES LIMITADA Y CUYO CONSUMO INCLUYE LAS CORRESPONDIENTES PERDIDAS DE RESERVAS DE ENERGIA Y AGUA QUE ACOMPAÑAN A SU PRODUCCION, OTRO ASPECTO NO MENOS IMPORTANTE ES EL EMPLEO DE RECURSOS HUMANOS PARA RECONSTRUIR LOS EQUIPOS METALICOS CORROIDOS, YA QUE DE OTRA MANERA SERIAN UTILIZADOS PARA OTROS FINES PRODUCTIVOS. EL MOTIVO PRINCIPAL DE LA INVESTIGACION DE LA CORROSION ES EL ASPECTO ECONOMICO. LAS PERDIDAS QUE SUFREN LA INDUSTRIA, LOS EJERCITOS, LAS COMPANIAS DE TRANSPORTES, ASCIENDEN A MILES DE MILLONES DE DOLARES ANUALMENTE. PARA CITAR UN EJEMPLO PODEMOS DECIR QUE LA OFICINA NACIONAL DE ESTANDARES DE LOS E.U.A. ESTIMO QUE EN EL AÑO DE 1987, EL COSTO DE REPONER ESTRUCTURAS METALICAS CORROIDAS FUE CERCANO A LOS 82,000 MILLONES DE DOLARES. POR OTRO LADO EN LA U.R.S.S. Y PARA EL MISMO AÑO SE PREVEIA UNA PRODUCCION DE ENTRE 65 Y 70 MILLONES DE TONELADAS DE ACERO PARA DIFERENTES USOS Y QUE DE ESTOS SE PERDERIAN ENTRE 6 Y 7 MILLONES DE TONELADAS POR PROBLEMAS DE CORROSION, ES DECIR 10 % DE LA PRODUCCION .

EL ANTERIOR EJEMPLO ES UNA PARTE DE LAS PERDIDAS ECONOMICAS YA QUE ESTAS SE DIVIDEN EN PERDIDAS DIRECTAS E INDIRECTAS. ENTENDIENDO POR PERDIDAS DIRECTAS LOS COSTOS DE REPONER ESTRUCTURAS, MAQUINARIAS CORROIDAS, EN LOS QUE SE INCLUYE LA MANO DE OBRA NECESARIA.

OTROS EJEMPLOS SON EL REPINTADO PERIODICO DE ESTRUCTURAS, COSTO DE ADQUISICION Y MANTENIMIENTO DE TUBERIAS Y ESTRUCTURAS CON PROTECCION CATODICA LAS PERDIDAS DIRECTAS INCLUYEN EL COSTO EXTRA DEBIDO AL EMPLEO DE ALEACIONES Y METALES RESISTENTES A LA CORROSION EN APLICACIONES DONDE EL ACERO AL CARBON CUMPLIRIA LAS EXIGENCIAS MECANICAS, PERO NO SERIA UTILIZABLE POR SU-

POCA RESISTENCIA A LA CORROSION; TAMBIEN COMPRENDEN EL COSTO DEL GALVANIZADO. AUN Y CUANDO RESULTA MAS DIFICIL ESTABLECER LAS PERDIDAS INDIRECTAS UN ANALISIS DE LAS PERDIDAS TIPICAS NOS LLEVA A LA CONCLUSION DE QUE TOTALIZAN VARIOS MILES DE MILLONES DE DOLARES POR ENCIMA DEL VALOR DE LAS PERDIDAS DIRECTAS. COMO EJEMPLOS DE LAS PERDIDAS INDIRECTAS SE PUEDEN ESTABLECER LAS SIGUIENTES:

1.- INTERRUPTIONES EN LA PRODUCCION; REPONER UNA TUBERIA CORROIDA EN UNA REFINERIA DE PETROLEO PUEDE COSTAR UNOS CIENTOS DE DOLARES, PERO EL PARRO DE LA UNIDAD DE PRODUCCION, COMO CONSECUENCIA DE LA AVERIA EN LA TUBERIA, PUEDE ALCANZAR MIENTRAS DURA LA REPARACION UN COSTO DE MILES DE DOLARES EN CONCEPTO DE PERDIDA DE PRODUCCION.

2.- PERDIDAS DEL PRODUCTO; PODEMOS HABLAR DE PERDIDAS DE PETROLEO, GAS, AGUA, QUE SE PRODUCEN A TRAVES DE TUBERIAS CORROIDAS. HASTA LOCALIZAR LA AVERIA Y REPARARLA. UN EJEMPLO MAS COMUN ES EL DE LA PERDIDA DE ANTI--CONGELANTE EN EL RADIADOR CORROIDO EN UN AUTOMOVIL.

3.- PERDIDAS DE RENDIMIENTO: ESTO OCURRE COMO CONSECUENCIA DE LA FORMACION DE CAPAS ACUMULADAS DE PRODUCTOS DE CORROSION QUE DISMINUYEN LA TRANSMISION DE CALOR, O POR LA FORMACION DE HERRUMBRE EN EL INTERIOR DE TUBERIAS QUE PRODUCEN OBSTRUCCIONES PARCIALES Y OBLIGAN A AUMENTAR LA CAPACIDAD DE BOMBEO EN LAS REDES DE TUBERIAS. OTRO EJEMPLO LO TENEMOS EN LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA DE LOS AUTOMOVILES, CUYOS SEGMENTOS DE PISTONES Y PAREDES DE LOS CILINDROS SE CORROEN CONSTANTEMENTE POR LA ACCION DE LOS GASES DE COMBUSTION Y DE LOS PRODUCTOS CONDENSADOS. LA PERDIDA DE LAS MEDIDAS CRITICAS DE LOS CILINDROS CONDUCE A UN CONSUMO EXCESIVO DE GASOLINA Y ACEITE.

4.- CONTAMINACION DE LOS PRODUCTOS; LA INUTILIZACION DE ALIMENTOS QUE OCURRE EN LOS ENVASES METALICOS CORROIDOS ES UN EJEMPLO DE ESTE TIPO DE PERDIDA, TAMBIEN PODEMOS HABLAR DE QUE UNA PEQUEÑA CANTIDAD DE COBRE RECOGIDO POR LA LIGERA CORROSION DE UNA TUBERIA DE ESTE MATERIAL DENTRO DE UNA FABRICA DE JABON PUEDE ESTROPEAR TODO EL PRODUCTO DE UN LOTE, YA QUE LAS SALES DE COBRE ACELERAN EL PROCESO DE ARRANCIAMIENTO DE LOS JABONES Y ACORTAN EL TIEMPO QUE PUEDEN PERMANECER ALMACENADOS ANTES DE SU VENTA.

5.- SOBREMEDIDAS; ESTE FACTOR ES COMUN EN EL DISEÑO DE CALDERAS, TUBOS CONDENSADORES, VASTAGOS DE BOMBAS DE EXTRACCION DE POZOS PETROLEROS. TAN --

QUES DE AGUA, TUBERIAS ENTERRADAS Y ESTRUCTURAS MARINAS. DEBIDO A QUE SE --
DESCONOCEN LAS VELOCIDADES DE CORROSION O PORQUE LOS METODOS PARA EL CONTROL
DE LA HISHA SON DUDOSOS, SE RECURRE CON FRECUENCIA A PROYECTAR LOS EQUIPOS O
INSTALACIONES VARIAS VECES MAS FUERTES DE LO QUE SE NECESITA.

CON UN CONOCIMIENTO APROPIADO DE LA CORROSION SE PUEDE HACER UN CALCULO
MAS SEGURO DE LA VIDA DEL EQUIPO Y SIMPLIFICAR EL DISEÑO EN LO QUE SE REFIE-
RE A MATERIALES Y TRABAJO.

ES POR LO TANTO DIFICIL LLEGAR A UNA ESTIMACION RAZONABLE DE LAS PERDI-
DAS TOTALES QUE ORIGINAN LAS PERDIDAS INDIRECTAS, NI AUN DENTRO DE UN SOLO -
TIPO DE INDUSTRIA.

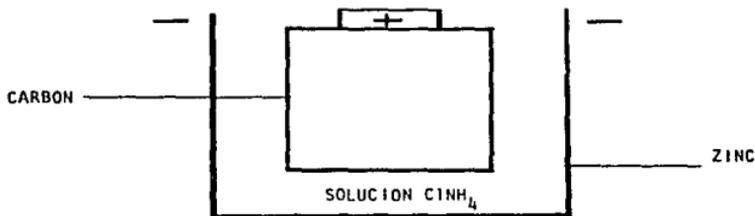
LAS PERDIDAS INDIRECTAS SON AUN MAS DIFICILES DE ESTABLECER EN LOS CA-
SOS DE PERDIDA DE SALUD O DE VIDA, POR EXPLOSIONES O FALLOS IMPREVISTOS DE
INSTALACIONES QUIMICAS, ACCIDENTES DE AVIACION, FERROCARRIL O AUTOMOVIL, DE
BIDOS A FALLOS REPENTINOS POR CORROSION DE PIEZAS IMPORTANTES.

11.2. -PRINCIPIOS DE LA CORROSION

LA CORROSION DE LOS METALES REPRESENTA UN ATAQUE DESTRUCTIVO DE LOS METALES POR EL MEDIO AMBIENTE, A TRAVES DE REACCIONES QUIMICAS O ELECTROQUIMICAS. A LAS TEMPERATURAS EN LAS QUE EL AGUA ES LIQUIDA, EL PROCESO DE CORROSION QUE PREDOMINA EN LOS METALES ES ELECTROQUIMICO. EN ESTE TRABAJO NOS INTERESA PRINCIPALMENTE EL CONOCER LOS PRINCIPIOS DE LA CORROSION HUMEDA QUE SE APLICAN PARA EL CASO DE ESTRUCTURAS METALICAS EN CONTACTO CON MEDIOS ELECTROLITICOS COMO EL AGUA, LA HUMEDAD ATMOSFERICA Y LA HUMEDAD DE LOS SUELOS.

11.2.1. -PRINCIPIOS ELECTROQUIMICOS:

EN MEDIOS ACUOSOS EL PROCESO DE LA CORROSION ELECTROQUIMICA EN LOS METALES ES SIMILAR A LA QUE TIENE LUGAR EN UNA PILA DE LINTERNA. LA CUAL ESTAFORMADA POR UN ELECTRODO DE CARBON QUE OCUPA EL CENTRO DE LA PILA Y UN ELECTRODO DE ZINC QUE HACE DE RECIPIENTE, SEPARADOS AMBOS ELECTRODOS POR UN ELECTROLITO COMPUESTO ESCENCIALMENTE POR SOLUCION DE $Cl NH_4$ (CLORURO DE AMONIO), COMO PODEMOS APRECIAR EN EL DIBUJO 11.1



(DIBUJO 11. 1)

SI SE COLOCA UN FOCO ENTRE AMBOS ELECTRODOS, ESTE SE PRENDE DEBIDO A LA ENERGIA ELECTRICA QUE SUMINISTRAN LAS REACCIONES QUIMICAS QUE TIENEN LUGAR EN AMBOS ELECTRODOS.

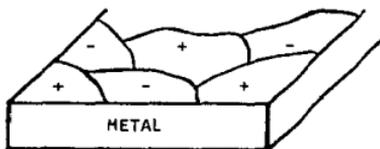
EN EL ELECTRODO DE CARBON (POLO POSITIVO) TIENE LUGAR UNA REDUCCION QUIMICA ES DECIR EL CARBON GANA ELECTRONES Y POR LO TANTO DISMINUYE SU VALEN

CIA, EN TANTO QUE EN EL ELECTRODO DE ZINC (POLO NEGATIVO) SE REALIZA UNA OXIDACION, ES DECIR QUE EL ZINC LIBERA ELECTRONES Y AUMENTA SU ESTADO DE VALENCIA Y DE ESTA MANERA EL ZINC METALICO ES CONVERTIDO EN IONES DE ZINC HIDRATADOS, $Zn^{++}nH_2O^2$. CUANTO MAYOR ES EL FLUJO DE ELECTRICIDAD A TRAVES DE LA PILA, MAYOR ES LA CANTIDAD DE ZINC QUE SE CORROE. ESTA RELACION ES CUANTITATIVA DE ACUERDO A LA FORMULA DESCUBIERTA POR MICHAEL FARADAY:

$$- \text{ PESO DEL METAL REACCIONANTE} = kIt$$

DONDE I ES LA INTENSIDAD DE CORRIENTE EN AMPERES, t ES EL TIEMPO EN SEGUNDOS Y k ES UNA CONSTANTE LLAMADA EQUIVALENTE ELECTROQUIMICO. AL PONER LA PILA EN CORTO CIRCUITO EL RECIPIENTE DE ZINC SE PERFORA POR CORROSION EN CUESTION DE HORAS; PERO SI LA PONEMOS EN CIRCUITO ABIERTO EL ZINC PUEDE PERMANECER INTACTO DURANTE AÑOS, YA QUE EL DESGASTE QUE SUFRA SE DEBERA A PEQUEÑAS IMPUREZAS, DE HIERRO PRINCIPALMENTE, QUE SE ENCUENTREN EN LA SUPERFICIE DEL ZINC Y QUE ASUMEN EL MISMO PAPEL QUE EL ELECTRODO DE CARBON Y PERMITEN EL PASO DE LA ELECTRICIDAD QUE ACOMPAÑA LA CORROSION DEL ZINC. LA CORRIENTE OBTENIDA MEDIANTE ESTA FORMA SE LLAMA CORRIENTE DE ACCION LOCAL Y LAS PILAS DE ESTE TIPO SE DENOMINAN PILAS DE ACCION LOCAL. ESTA CORRIENTE NO PRODUCE ENERGIA UTIL Y SOLO ACTUA CALENTANDO LOS ALREDEDORES. CUALQUIER SUPERFICIE METALICA, EN FORMA SIMILAR A LA DEL ZINC, ESTA COMPUESTA DE ELECTRODOS EN CORTO CIRCUITO A TRAVES DEL CUERPO DEL PROPIO METAL COMO SE APRECIA EN LA FIGURA 11.2.

(FIGURA 11.2)



SI EL METAL PERMANECE SECO NO SE OBSERVAN CORRIENTES DE ACCION LOCAL NI CORROSION, PERO SI SE EXPONE EL METAL A SOLUCIONES ACUOSAS, COMIENZAN A FUNCIONAR LAS PILAS DE ACCION LOCAL A LO QUE ACOMPAÑA LA CONVERSION QUIMICA DEL METAL EN PRODUCTOS DE CORROSION.

LAS CORRIENTES DE ACCION LOCAL SON EN PARTE RESPONSABLES DE LA CORROSION DE LOS METALES EXPUESTOS AL AGUA, SOLUCIONES SALINAS, ACIDOS. POR LO TANTO AL ELIMINAR LAS IMPUREZAS DE UN METAL SE MEJORA APRECIABLEMENTE SU RESISTENCIA A LA CORROSION. SIN EMBARGO, NO ES CORRECTO SUPONER, QUE LOS

METALES PUROS NO SE CORROEN EN MODO ALGUNO, YA QUE TAMBIEN SE ESTABLECEN PILAS DE ACCION LOCAL CUANDO HAY VARIACIONES EN EL MEDIO O EN LA TEMPERATURA.

CON HIERRO O ACERO SUMERGIDO EN AGUA AIREADA, POR EJEMPLO, LOS ELECTRODOS NEGATIVOS SON ZONAS DEL MISMO METAL CUBIERTAS POR HERRUMBRE Y LOS ELECTRODOS POSITIVOS SON AREAS EXPUESTAS AL OXIGENO.

11.2.2.- DEFINICION DE CATODO Y ANODO:

LA COMBINACION DE DOS CONDUCTORES ELECTRICOS (DENOMINADOS ELECTRODOS), SUMERGIDOS EN UN ELECTROLITO SE DENOMINA PILA GALVANICA, LA CUAL CONVIERTE LA ENERGIA QUIMICA EN ENERGIA ELECTRICA. CUANDO SE CIERRA EL CIRCUITO DE UNA DE ESTAS PILAS UNIENDO LOS POLOS CON UN ALAMBRE DE BAJA RESISTENCIA, FLUYE CORRIENTE POSITIVA POR LA UNION METALICA DESDE EL ELECTRODO POSITIVO AL ELECTRODO NEGATIVO. ESTA DIRECCION DEL FLUJO DE LA CORRIENTE SIGUE UN CONVENIO ARBITRARIO QUE SE ESTABLECIO ANTES DE TENER NINGUN CONOCIMIENTO SOBRE LA NATURALEZA DE LA ELECTRICIDAD Y TODAVIA SE SIGUE EN LA ACTUALIDAD A PESAR DE QUE SABEMOS QUE SOLO LOS PORTADORES NEGATIVOS O ELECTRONES SE MUEVEN EN UN METAL. DENTRO DEL ELECTROLITO LA CORRIENTE ES TRANSPORTADA POR PORTADORES NEGATIVOS Y POSITIVOS CONOCIDOS COMO IONES (QUE SON ATOMOS O GRUPOS DE ATOMOS CARGADOS DE ELECTRICIDAD). LA CORRIENTE QUE PORTA CADA UNO DE LOS IONES DEPENDE DE SU RESPECTIVA MOVILIDAD Y CARGA ELECTRICA. EL TOTAL DE CORRIENTE POSITIVA Y NEGATIVA EN EL ELECTROLITO DE UNA PILA ES EXACTAMENTE EQUIVALENTE AL TOTAL DE CORRIENTE LLEVADA A LA UNION METALICA POR LOS ELECTRONES SOLOS. EL ELECTRODO EN EL QUE TIENE LUGAR LA REDUCCION QUIMICA ES DECIR EL ELECTRODO EN EL QUE ENTRA LA CORRIENTE POSITIVA DEL ELECTROLITO, SE LLAMA CATODO.

EL ELECTROLITO EN EL CUAL TIENE LUGAR LA OXIDACION QUIMICA, ES DECIR EL ELECTRODO DEL QUE SALE LA ELECTRICIDAD POSITIVA QUE ENTRA EN EL ELECTROLITO SE LLAMA ANODO.

UNA REACCION CATODICA ES: $Fe^{+3} \text{-----} Fe^{++} -e^-$

Y UNA REACCION ANODICA ES: $Fe^{++} \text{-----} Fe^{+3} +e^-$

PARA LOS METALES, LA CORROSION OCURRE POR LO GENERAL EN EL ANODO.

EN LAS PILAS GALVANICAS EL CATODO ES EL ELECTRODO POR EL CUAL ENTRA LA CORRIENTE DESDE EL ELECTROLITO Y EL ANODO ES EL ELECTRODO POR EL CUAL SA-

LE LA CORRIENTE HACIA EL MISMO.

11.2.3. - TIPOS DE PILAS:

LOS TRES PRINCIPALES TIPOS DE PILAS QUE TOMAN PARTE EN LAS REACCIONES DE CORROSION SON:

1.- PILAS DE ELECTRODOS DIFERENCIALES; UN TIPO DE ESTA PILA ES LA PILA-SECA, UNA TUBERIA DE COBRE EN CONTACTO CON UNA DE HIERRO, UNA HELICE DE COBRE EN CONTACTO CON EL CASCO DE ACERO DE UN BUQUE.

2.- PILAS DE CONCENTRACION; ESTE TIPO DE PILA TIENE DOS ELECTRODOS IDENTICOS, PERO CADA UNO DE ELLOS EN CONTACTO CON UNA SOLUCION DE DIFERENTE COMPOSICION.

3.- PILAS DE TEMPERATURA DIFERENCIAL; LOS COMPONENTES DE ESTAS PILAS SON ELECTRODOS DEL MISMO METAL, CADA UNO DE LOS CUALES ESTA A TEMPERATURA DIFERENTE, SUMERGIDO EN UN ELECTROLITO DE LA MISMA COMPOSICION INICIAL.

11.2.4. - TIPOS DE CORROSION:

LA CORROSION NO SE LIMITA A LA FORMACION DE HERRUMBRE O AL EMPARADO QUE SUFREN LOS METALES, SINO QUE TAMBIEN ACTUA DE OTRAS FORMAS QUE CONDUCE, -- POR EJEMPLO A QUE UN METAL FALLE POR AGRIETAMIENTO O A QUE PIERDA SU RESISTENCIA O DUCTILIDAD.

EN GENERAL LOS TIPOS DE CORROSION SE PRODUCEN POR PROCESOS ELECTROQUIMICOS AUNQUE NO SIEMPRE SE FORMAN PRODUCTOS DE CORROSION VISIBLES NI EL METAL PIERDE PESO APRECIABLEMENTE.

LOS TIPOS DE CORROSION DE ACUERDO A SU ASPECTO EXTERNO O POR LAS ALTERACIONES QUE CAUSAN EN LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS METALES SON:

1.- ATAQUE UNIFORME:

ESTA ES LA FORMA DE CORROSION MAS COMUNMENTE ENCONTRADA Y SE CARACTERIZA POR EL ADELGAZAMIENTO PROGRESIVO Y UNIFORME DEL METAL. EL ATAQUE UNIFORME SE MIDE EN DIFERENTES UNIDADES, LAS CUALES SON: mdd=MILIGRAMOS PERDIDOS POR DECIMETRO CUADRADO POR DIA; ipy=PULGADA DE PENETRACION POR AÑO; -- mpa=MILS CORROIDOS POR AÑO (UN MIL=0.001 PULGADAS). DEBIDO A ESTA UNIFORMIDAD ES FACIL PARA EL DISEÑO CONSIDERAR UN MARGEN DE CORROSION AL DECIDIR-

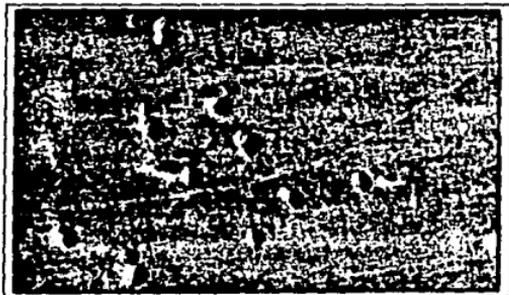
EL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DE UN REACTOR O DE UNA TUBERIA POR EJEMPLO. - EN LA SIGUIENTE FIGURA SE MUESTRA ESTE TIPO DE CORROSION. (11.3)



2.- PICADURAS (11.3)

UNA PICADURA ES UN HOYO QUE SE DESARROLLA DE TAL MANERA QUE SU ANCHO - ES COMPARABLE O MENOR QUE SU PROFUNDIDAD. POR LO GENERAL LAS PICADURAS -- SON MUY LOCALIZADAS COMO SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FOTOGRAFIA QUE MUESTRA UNA PLACA DE ACERO CON PICADURAS DE FONDO PLANO. (11.4)

(11.4)



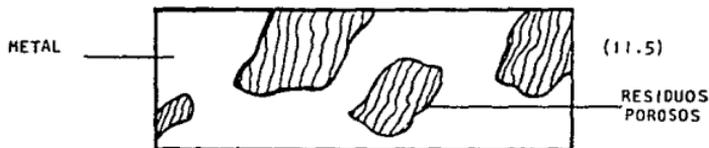
MUCHOS METALES CUANDO SE EXPONEN A LIQUIDOS QUE SE MUEVEN A VELOCIDADES ELEVADAS SUFREN UNA CORROSION DEL TIPO DE PICADURAS LLAMADAS ATAQUE POR CAVITACION. COMO EJEMPLOS SE TIENEN LOS TUBOS DE CONDENSADOR DE COBRE. LA-CORROSION POR FRICCION SE PRODUCE POR UN MOVIMIENTO RELATIVAMENTE PEQUERO, COMO EL QUE OCASIONA LA VIBRACION, DE DOS SUSTANCIAS EN CONTACTO, DE LAS - QUE UNA O LAS DOS SON METALES Y OCASIONA LA FORMACION DE UNA SERIE DE PICA-DURAS EN LA CARA DE CONTACTO DEL METAL.

3.- DESCINCADO Y CORROSION SELECTIVA:

EL DESCINCADO SE DA EN LAS ALEACIONES DEL ZINC. LA ALEACION QUE SUFRE-

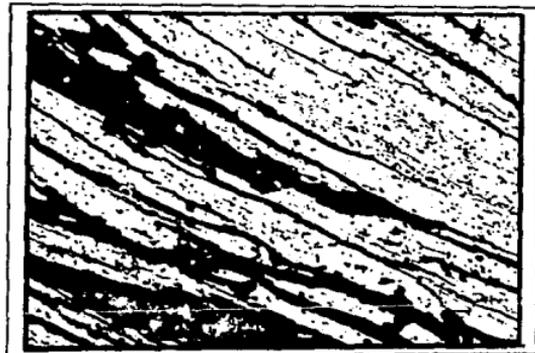
ESTA FORMA DE CORROSION MANTIENE SU FORMA ORIGINAL Y A EXCEPCION DEL EMPANA -
DO DE SU SUPERFICIE, PRESENTA UN ASPECTO SAHO. PERO SU RESISTENCIA MECANICA-
Y DUCTILIDAD SE REDUCEN. LA CORROSION SELECTIVA ES SIMILAR AL DESCINCADO -
EN QUE UNO O MAS COMPONENTES REACTIVOS DE LA ALEACION SE CORROEN PERFECTAMEN
TE, DEJANDO UN RESIDUO POROSO QUE PUEDE CONSERVAR LA FORMA PRIMITIVA DE LA -
ALEACION.

ESTE TIPO DE CORROSION SE LIMITA A LAS ALEACIONES DE LOS METALES NOBLES
COMO ORO-COBRE; ORO-PLATA. EN LA SIGUIENTE FIGURA SE MUESTRA ESTE TIPO DE
CORROSION: (11.5)



4.- CORROSION INTERGRANULAR:

EN ESTE CASO, EL MATERIAL QUE FORMA LOS ESPACIOS INTERGRANULARES Y QUE-
ACTUA COMO ANODO, ESTA EN CONTACTO CON LAS SUPERFICIES DE LOS GRANOS QUE SON
MAS GRANDES Y ACTUAN COMO CATODOS. ESTE ATAQUE ES RAPIDO Y PENETRA CON PRO
FUNDIDAD EN EL METAL. ESTE TIPO DE CORROSION PROVOCA EL DESPRENDIMIENTO DE
GRANOS ENTEROS, COMO SE OBSERVA EN LA SIGUIENTE FOTOGRAFIA QUE MUESTRA UNA -
ALEACION DE DURALUMINIO (4% Cu-Al) CON ATAQUE INTERGRANULAR POR EXPOSICION A
UNA ATMOSFERA MARINA. (11.6)



(11.6)

5.- AGRIETAMIENTO:

CUANDO UN METAL SE AGRIETA ESTANDO SUJETO A TENSIONES DE TRACCION REPETIDAS EN UN MEDIO CORROSIVO, SE DICE QUE FALLA POR CORROSION BAJO FATIGA.

CUANDO EL MEDIO NO ES CORROSIVO, EL METAL SOMETIDO A TENSIONES SIMILARES PERO DE VALOR INFERIOR AL LIMITE DE FATIGA O TENSION CRITICA, NO FALLARA POR FATIGA DESPUES DE UN NUMERO ELEVADO DE CICLOS. EN UN MEDIO CORROSIVO, NO EXISTE UN VERDADERO LIMITE DE FATIGA Y EL METAL FALLA DESPUES DE CIERTO NUMERO DE CICLOS DE TENSIONES SIN IMPORTAR CUAN BAJA SEA LA TENSION APLICADA. SI UN METAL EN UN MEDIO CORROSIVO ESPECIFICO Y A UNA TENSION DE TRACCION CONSTANTE SE AGRIETA DE INMEDIATO O DESPUES DE CIERTO TIEMPO, EL FALLO SE DENOMINA AGRIETAMIENTO POR CORROSION BAJO TENSIONES.

11.3.- TENDENCIA A LA CORROSION:

11.3.1.- VARIACION DE LA ENERGIA LIBRE:

EN CUALQUIER REACCION QUIMICA, INCLUIDA LA DE UN METAL CON UN MEDIO AGRESIVO, LA TENDENCIA A REALIZARSE SE HIDE POR LA VARIACION DE LA ENERGIA LIBRE DE GIBBS, ΔG . DEBIDO A QUE LA CORROSION SE PRODUCE POR UN MECANISMO ELECTROQUIMICO, LA TENDENCIA DE UN METAL A CORROERSE SE PUEDE EXPRESAR TAMBIEN COMO EL VALOR DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ (f_{em}) DE LAS PILAS DE CORROSION QUE SON PARTE INTEGRANTE DEL PROCESO DE CORROSION. LA ENERGIA ELECTRICA SE EXPRESA COMO EL PRODUCTO DE VOLTS POR COULOMBS, LA RELACION ENTRE ΔG EN JOULES Y LA f_{em} E EN VOLTS ES:

$$\Delta G = -nF$$

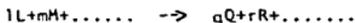
DONDE n ES EL NUMERO DE ELECTRONES QUE TOMAN PARTE EN LA REACCION Y F ES EL FARADAY. CUANTO MAS NEGATIVO SEA EL VALOR DE ΔG , MAYOR ES LA TENDENCIA A LA CORROSION. CABE DESTACAR QUE LA TENDENCIA A LA CORROSION NO ES UNA MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE CORROSION. POR LO ANTERIOR CUANTO MAYOR SEA EL VALOR DE E DE CUALQUIER PILA, MAYOR SERA LA TENDENCIA A LA CORROSION DE LA MISMA.

11.3.2.- MEDICION DE LA f_{em} :

PARA MEDIR EL VALOR DE LA f_{em} DE UNA PILA (TANTO EN EL CAMPO COMO EN EL LABORATORIO), LO QUE SE HACE ES Oponer LA PILA A UNA f_{em} CONOCIDA HASTA QUE NO FLUYA CORRIENTE A TRAVES DE UN GALVANOMETRO SENSIBLE CONECTADO EN SERIE -

DE LOS REACTANTES Y PRODUCTOS DE REACCION.

SE PUEDE SUPONER QUE LA REACCION GENERAL PARA UNA PILA GALVANICA ES: -



LO QUE SIGNIFICA QUE 1 MOLES DE SUSTANCIA L HAS m MOLES DE SUSTANCIA M, ETCETERA, REACCIONAN PARA FORMAR q MOLES DE SUSTANCIA Q HAS r MOLES DE SUSTANCIA, R, ETCETERA. LA VARIACION DE LA ENERGIA LIBRE DE GIBBS PARA ESTA REACCION ESTA DADA POR LA DIFERENCIA ENTRE LA ENERGIA LIBRE MOLAL DE PRODUCTOS Y REACTANTES. UNA EXPRESION QUE NOS ILUSTRAS LO ANTERIOR ES LA SIGUIENTE DONDE G_Q REPRESENTA LA ENERGIA LIBRE MOLAL DE LA SUSTANCIA Q, ETCETERA:

$$G = (qG_Q + rG_R + \dots) - (lG_L + mG_M + \dots) \text{-----(1)}$$

SE PUEDE OBTENER UNA EXPRESION SIMILAR PARA CADA SUSTANCIA, EN ESTADO NORMAL O EN CUALQUIER ESTADO DE REFERENCIA ARBITRARIO:

$$G^\circ = (qG_Q^\circ + rG_R^\circ + \dots) - (lG_L^\circ + mG_M^\circ + \dots) \text{-----(2)}$$

DONDE G° INDICA LA ENERGIA LIBRE MOLAL EN ESTADO NORMAL. SI a_L ES LA PRESION DE LA SUSTANCIA L, LLAMADA SU ACTIVIDAD, LA DIFERENCIA DE ENERGIA LIBRE PARA L EN CUALQUIER ESTADO DADO Y EN ESTADO NORMAL SE RELACIONA CON a_L POR LA SIGUIENTE EXPRESION:

$$l(G_L - G_L^\circ) = lRT \ln a_L = RT \ln a_L \text{-----(3)}$$

DONDE R ES LA CONSTANTE DE LOS GASES (8.314 J/grado . mol) Y T ES LA TEMPERATURA ABSOLUTA (grados C + 273.16). RESTANDO LA ECUACION (2) DE LA (1) E IGUALANDO CON LAS ACTIVIDADES CORRESPONDIENTES SE TIENE:

$$G - G^\circ = RT \ln \frac{a_Q^q \cdot a_R^r \dots}{a_L^l \cdot a_M^m \dots} \text{-----(4)}$$

CUANDO LA REACCION ESTA EN EQUILIBRIO Y NO HAY TENDENCIA A REALIZARSE, $G = 0$, Y :

$$\frac{a_Q^q \cdot a_R^r \dots}{a_L^l \cdot a_M^m \dots} = K$$

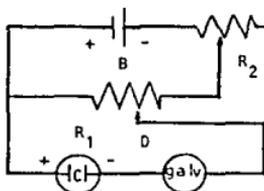
DONDE K ES LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO PARA LA REACCION. DE AQUI QUE:

$$G^\circ = - RT \ln K \text{-----(5)}$$

CON LA PILA.

LA fem CONOCIDA SE OBTIENE POR MEDIO DE UN CIRCUITO QUE SE DENOMINA PO--
TENCIOMETRO Y DEL CUAL TENEMOS EL SIGUIENTE ESQUEMA SIMPLIFICADO: (11.7)

ESQUEMA 11.7



SE CONECTA UNA RESISTENCIA R_1 , A UNA BATERIA DE ENTRE 1.5 Y 4 VOLTS (B), -
POR MEDIO DE UNA RESISTENCIA VARIABLE R_2 . CADA POSICION DE (D) CORRESPONDE
A UN VOLTAJE DETERMINADO QUE VARIA DESDE 0 EN EL LADO IZQUIERDO, HASTA EL VA
LOR MAXIMO EN EL LADO DERECHO.

ANTES DE COLOCAR LA PILA DE fem DESCONOCIDA (C), SE COLOCA UNA PILA PA -
TRON DE fem CONOCIDA Y SE AJUSTA R_2 DE MANERA QUE CON EL CONTACTO (D) EN LA
POSICION QUE CORRESPONDA A EL VALOR DEL VOLTAJE DE LA PILA PATRON, NO FLUYA -
CORRIENTE A TRAVES DEL GALVANOMETRO.

LA PILA PATRON SE ESTROPEARIA SI SE EMPLEA CONTINUAMENTE, POR LO QUE SE -
UTILIZA SOLO PARA CALIBRAR LA BATERIA (B). ENTONCES SE COLOCA EN EL CIRCUIT -
O LA PILA DE fem DESCONOCIDA Y SE AJUSTA DE NUEVO (D) HASTA QUE EL GALVANO -
METRO INDIQUE QUE NO HAY FLUJO DE CORRIENTE. LA LECTURA EN VOLTS QUE SEÑAL -
E LA POSICION DE (D) INDICA LA fem EXACTA DE LA PILA. PARA MEDIR LA fem -
SE REQUIEREN GALVANOMETROS SENSIBLES DE ALTA RESISTENCIA DE ENTRADA, LOS QUE
PRESENTAN DOS DESVENTAJAS; 1.- LA NECESIDAD DE AISLAR CON GRAN CUIDADO LOS -
CONDUCTORES, EN PARTICULAR EN DIAS HUMEDOS. 2.- ES PRECISO BLINDAR TODOS LOS
CONDUCTORES PARA EVITAR DISTURBIOS ELECTRICOS EXTERIORES CAUSADOS, POR EJEMP -
PLO, POR GENERADORES DE ALTA FRECUENCIA CERCANOS, INTERRUPTORES Y EQUIPOS SE
MEJANTES.

11.3.3.- POTENCIALES DE ELECTRODOS:

ECUACION DE NERST, (CALCULO DEL POTENCIAL DE SEMIPILA):

LA fem DE UNA PILA SE PUEDE EXPRESAR EN TERMINOS DE LAS CONCENTRACIONES-

PUESTO QUE $\Delta G = -nE$, SE DESPRENDE QUE $\Delta G^\circ = -E^\circ nF$, DONDE E° ES LA fem CUANDO TODOS LOS REACTANTES Y PRODUCTOS ESTAN EN ESTADOS NORMALES. POR LO TANTO SUSTITUYENDO EN (4) TENEMOS:

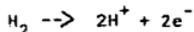
$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_O^n \cdot a_R^r \dots}{a_L^l \cdot a_M^m \dots} \quad \text{-----(6)}$$

ESTA ES LA ECUACION DE NERST QUE EXPRESA LA fem DE UNA PILA EN TERMINOS DE LOS PRODUCTOS Y REACTANTES DE LA PILA. LA ACTIVIDAD a_L ; DE UNA SUSTANCIA DISUELTA L, ES IGUAL A SU CONCENTRACION EN MOLES POR 1000g DE AGUA (MOLALIDAD) MULTIPLICADA POR UN FACTOR DE CORRECCION LLAMADO COEFICIENTE DE ACTIVIDAD Y CUYO VALOR DEPENDE DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACION Y SE DETERMINA EXPERIMENTALMENTE; DE UN GAS ES IGUAL A SU FUGACIDAD, A TEMPERATURAS ORDINARIAS Y PRESION ATMOSFERICA; DE UN SOLIDO O DE UN SOLUTO EN EQUILIBRIO CON UN SOLIDO ES CONSTANTE Y SE ESTABLECE ARBITRARIAMENTE IGUAL A LA UNIDAD.

LA fem DE UNA PILA ES LA SUMA ALGEBRAICA DE LOS POTENCIALES DE LOS ELECTRODOS, O POTENCIALES DE LAS DOS SEMIPILAS, POR LO QUE SE CALCULA EL POTENCIAL DE CADA ELECTRODO POR SEPARADO. DADO QUE ES MAS CONVENIENTE TRABAJAR CON LOGARITMO EN BASE 10, EL VALOR DEL COEFICIENTE $\frac{RT}{F}$ SE MULTIPLICA POR EL FACTOR DE CONVERSION 2.303. SE TIENEN TABLAS PARA LOS VALORES DE E° A 25°C ($T = 298.16^\circ K$). POR OTRO LADO TENEMOS QUE $R = 8.314 \text{ J/grado} \cdot \text{mol}$ Y $F = 96,500 \text{ C/equiv. químico}$. POR LO ANTERIOR EL COEFICIENTE ($2.303 \frac{RT}{F}$) A 25°C TIENE UN VALOR DE 0.0592 VOLTS.

11.3.4.- EL ELECTRODO Y LA SERIE NORMAL DE HIDROGENO

EN LA ACTUALIDAD SE DESCONOCEN LOS POTENCIALES ABSOLUTOS DE LOS ELECTRODOS, POR LO QUE SE SUPONE ARBITRARIAMENTE QUE EL POTENCIAL NORMAL PARA LA REACCION DEL HIDROGENO:

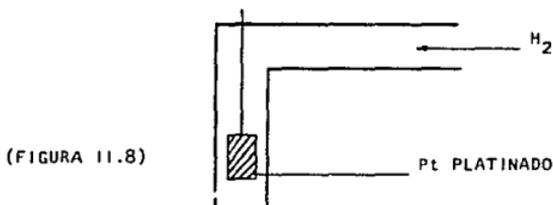


ES IGUAL A CERO A TODAS LAS TEMPERATURAS. POR LO TANTO SE TIENE QUE LA fem DEL ELECTRODO DE HIDROGENO ESTA DADA POR:

$$E_{H_2} = 0 - \frac{RT}{2F} \ln \frac{(H^+)^2}{P_{H_2}}$$

DONDE P_{H_2} ES LA FUGACIDAD DEL HIDROGENO EN ATMOSFERAS Y (H^+) ES LA ACTI

VIDAD DE LOS IONES HIDROGENO. LA MANERA DE MEDIR EL POTENCIAL DEL ELECTRODO DE HIDROGENO ES POR MEDIO DE UNA LAMINA DE PLATINO PLATINADO SUMERGIDO EN -- UNA SOLUCION SATURADA CON GAS HIDROGENO A UNA PRESION DE 1 ATMOSFERA, TAL Y COMO SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA: (11.8)



TODOS LOS POTENCIALES DE ELECTRODOS ESTAN REFERIDOS AL ELECTRODO DE - - HIDROGENO.

SE DEBE DE OBSERVAR QUE EL POTENCIAL DEL ELECTRODO DE HIDROGENO ES IGUAL A CERO SI LA ACTIVIDAD DEL ION HIDROGENO Y LA PRESION EN ATMOSFERAS DEL - - HIDROGENO GASEOSO SON EN AMBOS CASOS LA UNIDAD. ESTE ES EL POTENCIAL NORMAL DE HIDROGENO. ENTONCES EL POTENCIAL DE SEMIPILA DE CUALQUIER ELECTRODO ES - IGUAL A LA f_{em} DE UNA PILA EN LA QUE EL OTRO ELECTRODO SEA EL NORMAL DE - - HIDROGENO. EL POTENCIAL DE SEMIPILA DE CUALQUIER ELECTRODO EXPRESADO SOBRE ESTA BASE SE DENOMINA POTENCIAL DE LA SERIE NORMAL DE HIDROGENO Y A VECES SE EXPRESA COMO E_H .

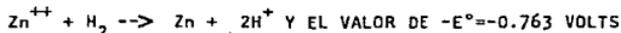
11.3.5. - CONVENCION DE SIGNOS:

EL POTENCIAL DE OXIDACION E° DEL ZINC, NO SE PUEDE MEDIR POR SEPARADO -- SINO QUE SE REFIERE A LA f_{em} DE UNA PILA CUYO OTRO ELECTRODO ES EL NORMAL DE HIDROGENO. LA REACCION CORRESPONDIENTE ES LA SIGUIENTE:



Y EL VALOR DE $E^\circ = 0.763$ VOLTS, POR LO QUE ΔG ES NEGATIVA (RECORDAR QUE - $\Delta G = -nF$) Y LA REACCION ES POSIBLE.

POR OTRO LADO EL POTENCIAL DE REDUCCION DEL ZINC TIENE SIGNO OPUESTO AL POTENCIAL DE OXIDACION, ES DECIR EL SIMBOLO DEL POTENCIAL DE REDUCCION ES -- $-E^\circ$. PARA EL CASO DEL ZINC LA REACCION DE REDUCCION ES LA SIGUIENTE:



POR LO QUE ΔG ES POSITIVA Y LA REACCION NO ES POSIBLE.

INTERNACIONALMENTE SE TIENE LA CONVENCION DE QUE EL POTENCIAL DE REDUCCION DE CUALQUIER REACCION DE ELECTRODO SEMIPILA SE LLAMA EL POTENCIAL. - - ESTA DESIGNACION TIENE LA VENTAJA DE CONCORDAR CON EL CONCEPTO DE POTENCIAL FISICO. DEFINIDO COMO EL TRABAJO NECESARIO PARA CONDUCIR UNA CARGA POSITIVA-UNITARIA AL PUNTO AL CUAL SE DA EL POTENCIAL.

ESTO TIENE TAMBIEN LA VENTAJA DE CORRESPONDER EN SIGNO A LA POLARIDAD - DE UN VOLTMETRO O UN POTENCIOMETRO AL QUE SE PUEDA CONECTAR UN ELECTRODO.

11.3.6. MEDIDA DEL pH:

LA ACTIVIDAD DEL ION HIDROGENO SE EXPRESA CON EL TERMINO pH, QUE SE DE -- FINE ASI:

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

POR LO TANTO PARA LA REACCION DE SEMIPILA, $\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{H} + 2\text{e}^-$, CON LA PRE -- SION DEL HIDROGENO IGUAL A UNA ATMOSFERA:

$$E_{\text{H}_2} = 0.0592 \text{ pH}$$

EL AGUA PURA CONTIENE IGUAL CONCENTRACION DE HIDROGENO H^+ Y DE HIDROXI -- LO OH^- EN EQUILIBRIO CON AGUA SIN DISOCIAR. ES POSIBLE CALCULAR LA ACTIVIDAD DEL ION HIDROGENO O LA DEL HIDROXILO A PARTIR DE LA CONSTANTE DE IONIZACION, CUYO VALOR A 25°C ES 1.01×10^{-14} .

EL pH DEL AGUA A 25°C ES $-\log (1.01 \times 10^{-14})^{1/2} = 7.0$ SI (H^+) EXCEDE A -- (OH^-) COMO EN LOS ACIDOS, EL pH ES MENOR DE 7. EN CASO CONTRARIO EL pH ES -- MAYOR DE 7 Y LA SOLUCION ES ALCALINA.

11.3.7. SERIE ELECTROQUIMICA Y SERIE GALVANICA:

LA SERIE ELECTROQUIMICA ES UNA DISPOSICION ORDENADA DE LOS POTENCIALES -- NORMALES DE OXIDACION O REDUCCION DE TODOS LOS METALES.

DE DOS METALES QUE FORMAN PARTE DE UNA PILA, EL ANODO ES EL METAL MAS -- ACTIVO EN LA SERIE ELECTROQUIMICA. LOS POTENCIALES NORMALES ESTAN DADOS EN -- BASE AL ELECTRODO NORMAL DE HIDROGENO. EN LA PRACTICA LOS POTENCIALES DE -- LOS METALES VARIAN CON EL MEDIO EN QUE SE ENCUENTRAN, POR LO QUE LA SERIE -- ELECTROQUIMICA SOLO TIENE UNA UTILIDAD LIMITADA PARA PREDECIR QUE METAL ES -- ANODICO CON RESPECTO A OTRO.

A CONTINUACION SE MUESTRA EN FORMA SIMPLIFICADA UNA SERIE ELECTROQUIMICA DONDE E° SE REFIERE AL POTENCIAL NORMAL DE REDUCCION DE LOS METALES INCLUIDOS:

	<u>METAL</u>	<u>E° (VOLTS) A 25°C</u>
	Li	-3.045
	K	-2.925
ELEMENTOS	Mg	-2.37
ACTIVOS	U	-1.80
	Mn	-0.762
	Zn	-0.440
	Pb	-0.126
REFERENCIA - - -	H ₂	0.00
ELEMENTOS	Cu	+0.337
NOBLES	Hg	+0.789
	Au	+1.50

LA SERIE ELECTROQUIMICA NO INCLUYE LAS ALEACIONES, DEBIDO A ESTAS LIMITACIONES DE LA SERIE ELECTROQUIMICA HAN SURGIDO LAS LLAMADAS SERIES GALVANICAS. ESTAS SERIES SON UNA DISPOSICION DE METALES Y ALEACIONES DE ACUERDO A SUS POTENCIALES REALES MEDIDOS EN UN MEDIO DADO.

UN EJEMPLO DE ESTAS SERIES SE DA A CONTINUACION Y SE TRATA DE LA SERIE GALVANICA EN AGUA DE MAR.

MAGNESIO

ZINC

ALUMINIO 4-S

ALUMINIO 2-S

CADMIO

ALUMINIO 24-ST

ACERO DULCE

BRONCE AL MANGANESO

NIQUEL

COBRE

BRONCE AL SILICIO

ACERO INOXIDABLE

ELEMENTOS MAS

ACTIVOS

ELEMENTOS MAS

NOBLES

11.3.8.-SEMIPILAS DE REFERENCIA:

EN LAS MEDIDAS DE f_{em} EL VALOR OBTENIDO REPRESENTA LA TENDENCIA DE LAS REACCIONES SIMULTANEAS QUE SE PRODUCEN EN LOS DOS ELECTRODOS DE UNA PILA.

EN LA PRACTICA LO QUE NOS INTERESA ES LA REACCION QUE TIENE LUGAR EN UNO DE LOS ELECTRODOS. LAS MEDICIONES DE ESTA NATURALEZA SE HACEN EMPLEANDO UN ELECTRODO QUE TENGA UN VALOR DE POTENCIAL FIJO CON INDEPENDENCIA DEL MEDIO -- EN QUE SE UTILICE, ESTE ELECTRODO DE REFERENCIA SE NOMBRA SEMIPILA O ELECTRODO DE REFERENCIA.

EN LA PRACTICA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD EMPLEA DOS TIPOS DE ELECTRODOS DE REFERENCIA: EL ELECTRODO PLATA-CLORURO DE PLATA CUANDO LAS MEDICIONES SE HACEN TENIENDO COMO ELECTROLITO EL AGUA DE MAR Y EL ELECTRODO COBRE -- SULFATO DE COBRE SATURADO CUANDO LAS MEDICIONES SON DE MATERIALES ENTERRADOS- EN EL SUELO. LOS POTENCIALES DE ESTOS ELECTRODOS DE REFERENCIA SON: ELECTRODO PLATA-CLORURO DE PLATA $E^{\circ} = - 0.222$ VOLTS: ELECTRODO COBRE-SULFATO DE COBRE $E^{\circ} = - 0.337$ VOLTS, CON RESPECTO AL ELECTRODO NORMAL DE HIDROGENO.

11.3.9.-POLARIZACION Y VELOCIDADES DE CORROSION:

ALGUNOS METALES CUYA TENDENCIA A REACCIONAR ES MARCADA, COMO ES EL CASO DEL ALUMINIO, REACCIONAN CON TAL LENTITUD QUE, POR LO GENERAL, SATISFACEN LOS REQUISITOS DE UN METAL ESTRUCTURAL Y PUEDEN SER MAS RESISTENTES EN ALGUNOS MEDIOS QUE OTROS METALES QUE POSEEN MENOR TENDENCIA A REACCIONAR.

SE DEBE CONOCER EL ESTADO DE EQUILIBRIO DEL SISTEMA ANTES DE PODER VALORAR LOS DIVERSOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA VELOCIDAD DE LA CORROSION. UN ELECTRODO DEJA DE ESTAR EN EQUILIBRIO CUANDO FLUYE UNA CORRIENTE NETA DESDE O HACIA SU SUPERFICIE. EL POTENCIAL (MEDIDO) DE TAL ELECTRODO SE ALTERA EN UNA EXTENSION QUE DEPENDE DE LA CORRIENTE EXTERNA Y DE LA DIRECCION DE LA MISMA. LA DIRECCION DEL CAMBIO DE POTENCIAL ES TAL QUE SE OPONE A LA ALTERACION DEL EQUILIBRIO Y POR LO TANTO, SE OPONE AL FLUJO DE LA CORRIENTE, TANTO SI LA CORRIENTE SE APLICA DESDE UNA FUENTE EXTERNA O ES DE ORIGEN GALVANICO.

CUANDO EN UNA PILA GALVANICA FLUYE CORRIENTE, EL POTENCIAL DEL ANODO SE HACE SIEMPRE MAS CATODICO Y EL DEL CATODO SIEMPRE MAS ANODICO Y ASI LA DIFERENCIA DE POTENCIAL DISMINUYE. LA MAGNITUD DE LA VARIACION DE POTENCIAL --

CAUSADO POR LA CORRIENTE NETA APLICADA O EXTRAIDA DE UN ELECTRODO, MEDIDA EN VOLTS, SE LLAMA POLARIZACION.

TOMANDO COMO EJEMPLO UNA PILA FORMADA POR ZINC EN UNA SOLUCION DE SULFATO DE ZINC Y COBRE EN UNA SOLUCION DE SULFATO DE COBRE, CUYOS ELECTRODOS ESTAN CONECTADOS A UNA RESISTENCIA VARIABLE R, VOLTMETRO V Y AMPERMETRO A, COMO SE VE EN LA FIGURA: (11.9)

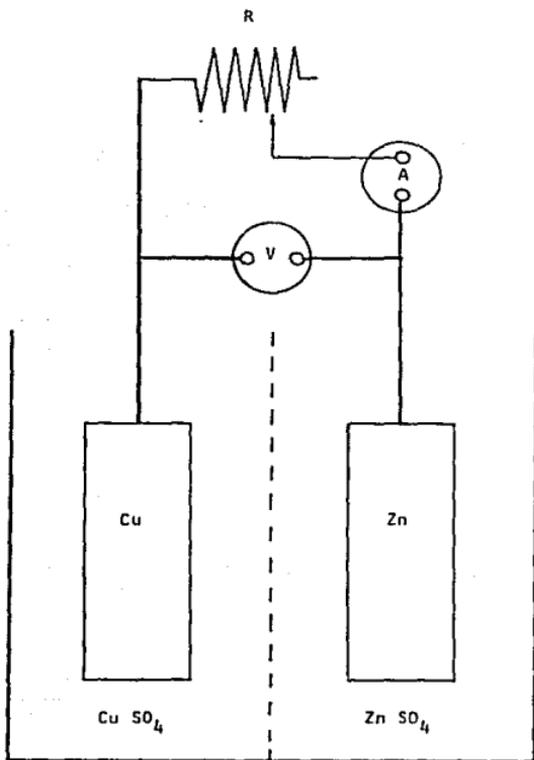
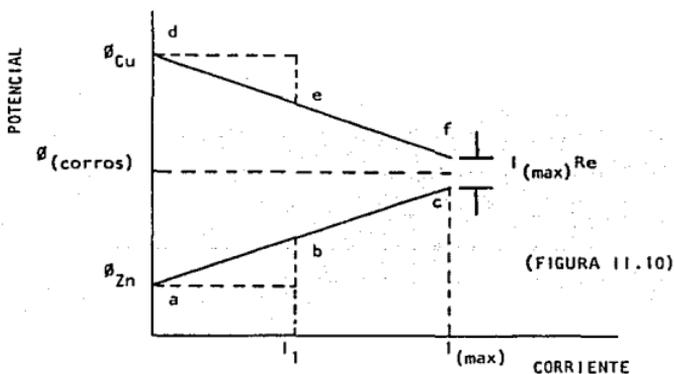


FIGURA 11.9

LA DIFERENCIA DE POTENCIAL (f_{em}) DE LOS ELECTRODOS DE Cu Y DE Zn DE LA PILA (EN CIRCUITO ABIERTO) ES DE ALREDEDOR DE 1 VOLT. SI SE PERMITE QUE FLUYA UNA PEQUEÑA CORRIENTE A TRAVÉS DE LA RESISTENCIA EXTERNA, LA DIFERENCIA DE POTENCIAL CAE POR DEBAJO DE 1 V DEBIDO A QUE AMBOS ELECTRODOS SE POLARIZAN. EL VOLTAJE CONTINUA DESCENDIENDO A MEDIDA QUE SE INCREMENTA LA CORRIENTE. CUANDO LA RESISTENCIA EXTERNA ES MUY PEQUEÑA FLUYE EL MÁXIMO DE CORRIENTE Y LA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE LOS ELECTRODOS DE Cu Y DE Zn LLEGA A SER MUY PROXIMA A CERO. EL EFECTO DEL FLUJO DE CORRIENTE NETA SOBRE EL VOLTAJE DE LA PILA SE PUEDE REPRESENTAR RELACIONANDO EN UN GRÁFICO LOS POTENCIALES, ϕ , DE LOS ELECTRODOS DE Cu Y DE Zn POR SEPARADO, CON LA CORRIENTE TOTAL I , COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA: (11.10)



LOS POTENCIALES DE CIRCUITO ABIERTO ESTAN DADOS POR ϕ_{Zn} Y ϕ_{Cu} . EL ELECTRODO DE Zn SE POLARIZA SIGUIENDO LA LINEA abc Y EL ELECTRODO DE COBRE SIGUIENDO LA LINEA def.

PARA UN VALOR DE CORRIENTE QUE ATRAVIESA EL AMPERMETRO IGUAL A I_1 , LA POLARIZACION DEL Zn EN VOLTS ESTA DADA POR LA DIFERENCIA ENTRE EL POTENCIAL-REAL DEL Zn EN EL PUNTO b Y EL VALOR EN CIRCUITO ABIERTO a, O ϕ_{Zn} . DE MANERA ANALOGA LA POLARIZACION DEL COBRE ESTA DADA POR LA DIFERENCIA DE POTENCIAL e-d. EL VOLTAJE DE LA PILA b-e ES IGUAL A LA CORRIENTE I_1 MULTIPLICADA POR LA RESISTENCIA TOTAL, ES DECIR, DE LA SUMA DE LA RESISTENCIA EXTERNA R_m Y DE LA RESISTENCIA ELECTROLITICA INTERNA R_e EN SERIE, O BIEN $I_1 (R_e + R_m)$. AL CERRAR EL CIRCUITO, LA CORRIENTE ALCANZA EL VALOR MAXIMO I_{max} . ENTONCES R_m SE HACE TAN PEQUEÑA QUE SE PUEDE DESPRECIAR Y LA DIFERENCIA DE

POTENCIAL DE AMBOS ELECTRODOS DECRECE A UN MINIMO, IGUAL A $i_{max} \times R_e$. LA CORRIENTE MAXIMA ES EQUIVALENTE A: $\frac{65.38}{2} \frac{i_{max}}{F}$ GRAMOS DE ZINC QUE SE CORROEN POR SEGUNDO, DONDE i_{max} SE DA EN AMPERES, F ES IGUAL A 96500 C/equiv., Y 65.38/2 ES EL PESO EQUIVALENTE DEL Zn. LA VELOCIDAD DE CORROSION DEL Zn PUEDE EXCEDER LA VELOCIDAD DE CORROSION EQUIVALENTE INDICADA COMO i_{max} , SOLO SI SE INTRODUCEN ALGUNOS MEDIOS PARA REDUCIR LA POLARIZACION DEL Zn O DEL Cu O DE AMBOS, DE ESTA MANERA SE REDUCE LA INCLINACION DE LAS RECTAS abc o def, LO QUE HACE QUE ESTAS ALCANCEN EL PUNTO MAS CERCANO A LA INTERSECCION CON UN VALOR MAYOR DE 1. EN FORMA ANALOGA, CUALQUIER FACTOR QUE TIENDA A INCREMENTAR LA POLARIZACION, HACE QUE DECRESCA EL PASO DE CORRIENTE POR LA PILA Y SE DISMINUYE LA VELOCIDAD DE CORROSION DEL Zn. LAS CURVAS DE POLARIZACION NUNCA LLEGAN A JUNTARSE, PERO SE PUEDEN APROXIMAR MUCHO SI LOS ANODOS Y CATODOS ESTAN CERCANOS UNOS DE OTROS Y EN UN MEDIO DE CONDUCTIVIDAD DE REGULAR A BUENO. EN TODOS LOS CASOS SE PRODUCE UNA DIFERENCIA DE POTENCIAL FINITA ACOMPAÑADA POR UN FLUJO DE CORRIENTE APRECIABLE.

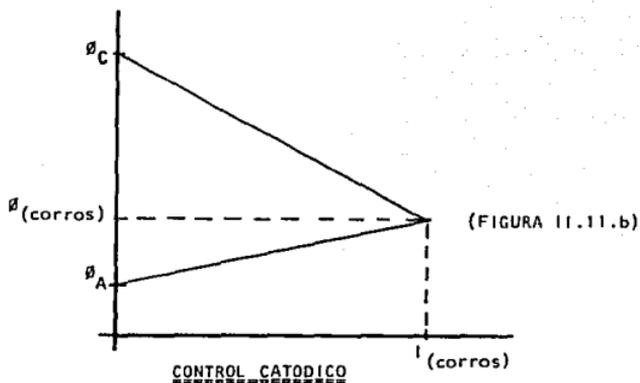
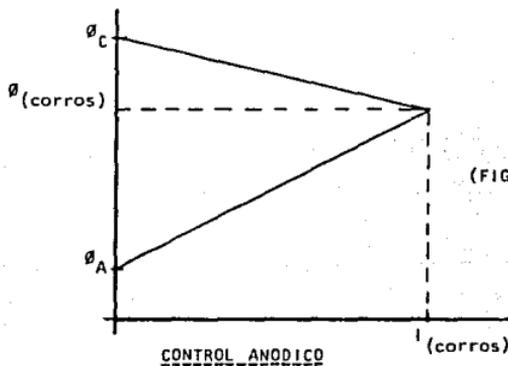
LAS PILAS ELECTROLITICAS RESPONSABLES DE LA CORROSION DE LOS METALES SON ANALOGAS A LA PILA DEL EJEMPLO ANTERIOR EN CORTO CIRCUITO. EL POTENCIAL DE UN METAL QUE SE ESTA CORROYENDO (OBTENIDO POR MEDIO DE UNA MEDICION) ES EL POTENCIAL INTERMEDIO DE ANODOS Y CATODOS POLARIZADOS Y SE CONOCE COMO POTENCIAL DE CORROSION ϕ_{corros} . EL VALOR i_{max} SE CONOCE COMO CORRIENTE DE CORROSION, i_{corros} . DE ACUERDO A LA LEY DE FARADAY, LA VELOCIDAD DE CORROSION DE LAS AREAS ANODICAS DE UNA SUPERFICIE METALICA ES PROPORCIONAL A i_{corros} , Y POR LO TANTO LA VELOCIDAD DE CORROSION POR UNIDAD DE AREA SE PUEDE EXPRESAR COMO DENSIDAD DE CORRIENTE. PARA EL Zn UNA VELOCIDAD DE CORROSION DE 1mdd (MILIGRAMOS PERDIDOS POR DECIMETRO CUADRADO POR DIA) EQUIVALE A $3.42 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, PARA EL Fe UNA VELOCIDAD DE CORROSION DE 1mdd EQUIVALE A $4.0 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$.

11.3.10. -INFLUENCIA DE LA POLARIZACION EN LA VELOCIDAD DE CORROSION:

LA RESISTENCIA DEL ELECTROLITO Y LA POLARIZACION DE LOS ELECTRODOS LIMITAN LA CANTIDAD DE CORRIENTE PRODUCIDA POR UNA PILA GALVANICA. EN LAS PILAS DE ACCION LOCAL QUE SE FORMAN EN LA SUPERFICIE DE UN METAL, LOS ELECTRODOS ESTAN MUY JUNTOS, POR LO QUE LA RESISTENCIA DEL ELECTROLITO ES UN FACTOR SECUNDARIO EN COMPARACION CON EL OTRO FACTOR QUE ES LA POLARIZACION. CUANDO LA POLARIZACION SE DA PRINCIPALMENTE EN LOS ANODOS, SE DICE QUE LA REACCION-

DE CORROSION ESTA CONTROLADA ANODICAMENTE. EN LAS SIGUIENTES FIGURAS -- (11.11) SE MUESTRAN CURVAS TÍPICAS DE POLARIZACIÓN.

SE OBSERVA QUE PARA UN CONTROL ANÓDICO, EL POTENCIAL DE CORROSION ES -- CERCANO AL POTENCIAL EN CIRCUITO ABIERTO DEL CATODO. DE MANERA ANALOGA, CUAN DO LA POLARIZACIÓN TIENE LUGAR PRINCIPALMENTE EN EL CATODO SE DICE QUE LA VE LOCIDAD DE CORROSION ESTA CONTROLADA CATÓDICAMENTE, ENTONCES EL POTENCIAL ES PROXIMO AL POTENCIAL DEL ANODO EN CIRCUITO ABIERTO.



CAPITULO III

CONTROL DE LA CORROSION

III.1.- RECUBRIMIENTOS METALICOS:

LA MAYOR PARTE DE LOS RECUBRIMIENTOS METALICOS SE APLICAN POR UNO DE LOS SIGUIENTES DOS METODOS: EL PRIMERO DE ELLOS ES POR MEDIO DE UNA BREVE INMERSION EN UN BAÑO DE METAL EN FUSION, ESTE METODO SE NOMBRA INMERSION EN CALIENTE; EL SEGUNDO ES POR GALVANIZACION EN UN ELECTROLITO ACUOSO.

EN MENOR PROPORCION TAMBIEN SE APLICAN RECUBRIMIENTOS POR OTROS PROCEDIMIENTOS; LA METALIZACION POR ROCIADO EMPLEA UNA PISTOLA QUE AL MISMO TIEMPO FUNDE Y PROYECTA PEQUEÑAS GOTAS DE METAL, POR LO GENERAL POR MEDIO DE UN CHORRO DE AIRE, SOBRE LA SUPERFICIE A RECUBRIR. LOS RECUBRIMIENTOS OBTENIDOS SON POROSOS, PERO SE PUEDE CONSEGUIR QUE SEAN ADHERENTES Y CASI DE CUALQUIER ESPESOR QUE SE DESEE, UNA DE LAS VENTAJAS DE ESTOS RECUBRIMIENTOS ES QUE SE PUEDEN APLICAR SOBRE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS. EN OCASIONES Y CON OBJETO DE AUMENTAR LA PROTECCION CONTRA LA CORROSION SE RELLENAN LOS POROS CON UNA RESINA TERMOPLASTICA.

LA CEMENTACION CONSISTE EN VOLTEAR LOS MATERIALES DENTRO DE UN TAMBOR ROTATIVO CON UNA MEZCLA DE POLVO METALICO Y FUNDENTE, A TEMPERATURA ELEVADA, DEJANDO QUE EL METAL DE RECUBRIMIENTO SE DIFUNDA EN EL METAL BASE. POR ESTE METODO SE PUEDEN PREPARAR RECUBRIMIENTOS DE ALUMINIO Y ZINC.

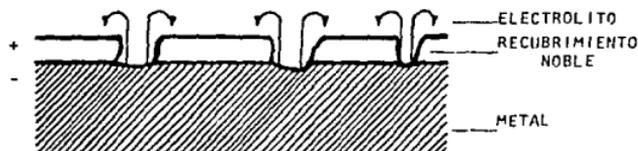
POR ULTIMO SE TIENEN LOS RECUBRIMIENTOS POR REACCION EN FASE GASEOSA, COMO EJEMPLO SE PUEDE CITAR EL CROMADO DEL ACERO, LO QUE SE LOGRA CUANDO SE VOLATILIZA Cl_2Cr (CLORURO DE CROMO) Y SE HACE PASAR SOBRE ACERO A UNA TEMPERATURA DE $1000^{\circ}C$, OBTENIENDOSE EN LA SUPERFICIE DEL ACERO UNA ALEACION Cr-Fe

CON UN CONTENIDO DE HASTA 30% DE Cr.

III.1.1.- CLASIFICACION DE LOS RECUBRIMIENTOS:

TODOS LOS RECUBRIMIENTOS METALICOS SON POROSOS Y TIENDEN A DANARSE DURANTE SU INSTALACION, ASI COMO EN LA TRANSPORTACION. POR LO TANTO, LA ACCION GALVANICA EN LA BASE DE UN PORO SE CONVIERTE EN UN FACTOR IMPORTANTE PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS DE UN RECUBRIMIENTO. DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CORROSION, LOS RECUBRIMIENTOS METALICOS SE DIVIDEN EN DOS CLASES:

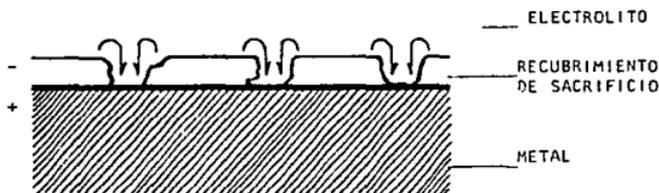
1.- RECUBRIMIENTOS NOBLES: COMO LOS OBTENIDOS CON NIQUEL, PLATA, COBRE, PLOMO O CROMO, SOBRE ACERO. ESTOS METALES SON, COMO LO INDICA SU NOMBRE, NOBLES EN LAS SERIES GALVANICAS (ES DECIR MAS ELECTROPOSITIVOS) CON RESPECTO AL METAL BASE. EN LOS POROS EXPUESTOS LA DIRECCION DE LA CORRIENTE GALVANICA ACELERA EL ATAQUE DEL METAL BASE Y DE UNA MANERA INEVITABLE MINA EL RECUBRIMIENTO COMO SE APRECIA EN EL DIBUJO III.1



DIBUJO III.1

EN CONSECUENCIA ES IMPORTANTE QUE LOS RECUBRIMIENTOS NOBLES SE PREPAREN CON LA MINIMA CANTIDAD DE POROS Y QUE EN CASO DE QUE EXISTAN SEAN TAN PEQUEÑOS COMO RESULTE POSIBLE, DE MANERA QUE RETRASEN EL ACCESO DEL AGUA AL METAL BASE. PARA LOGRAR LO ANTERIOR SE REQUIERE DE AUMENTAR EL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO. EN OCASIONES SE RELLENAN LOS POROS CON UNA LACA ORGANICA, O SE DIFUNDE EN EL RECUBRIMIENTO UN SEGUNDO METAL DE PUNTO DE FUSION MAS BAJO, COMO EJEMPLO SE PUEDE CITAR DIFUSION DE ZINC EN RECUBRIMIENTOS DE NIQUEL.

2.- RECUBRIMIENTO DE SACRIFICIO: EN ESTE CASO SE TIENEN RECUBRIMIENTOS DE ZINC, CADMIO Y EN CIERTOS MEDIOS ALUMINIO Y ESTARON SOBRE ACERO, LA CORRIENTE GALVANICA A TRAVES DEL ELECTROLITO SE DIRIGE DEL RECUBRIMIENTO AL METAL BASE DANDO COMO RESULTADO UN METAL BASE PROTEGIDO COTODICAMENTE COMO SE OBSERVA EN EL DIBUJO III.2



DIBUJO 111.2

EN TANTO FLUYA LA CORRIENTE ADECUADA Y SE MANTENGA EL RECUBRIMIENTO EN CONTACTO ELECTRICO NO SE ORIGINA LA CORROSION EN EL METAL BASE. ENTONCES, AL CONTRARIO DE LO QUE OCURRE CON LOS RECUBRIMIENTOS NOBLES, EL GRADO DE POROSIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS DE SACRIFICIO NO TIENE GRAN IMPORTANCIA, UNICAMENTE CUANTO MAYOR SEA EL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO, MAYOR DURACION TENDRA LA PROTECCION CATODICA.

EL AREA DEL METAL BASE SOBRE LA CUAL ACTUA LA PROTECCION CATODICA DEPEN DE DE LA CONDUCTIVIDAD DEL MEDIO. PARA LOS RECUBRIMIENTOS DE ZINC SOBRE -- ACERO EN AGUAS DE BAJA CONDUCTIVIDAD (AGUA DESTILADA, AGUAS BLANDAS) UN DE - FECTO DEL RECUBRIMIENTO DE UNOS 3mm DE ANCHO, ES POSIBLE QUE COMIENCE A FORMAR HERRUMBRE EN EL CENTRO. SIN EMBARGO, EN AGUA DE MAR, QUE ES BUENA CONDUCTORA, EL ZINC PROTEGE AL ACERO EN VARIOS DECIMETROS.

ESTA DIFERENCIA DE COMPORTAMIENTO SE DEBE A QUE EN LAS AGUAS DE MAS ALTA CONDUCTIVIDAD LAS DENSIDADES DE CORRIENTE ADECUADAS PARA LA PROTECCION CA TODICA SE EXTIENDEN A UNA MAYOR DISTANCIA, MIENTRAS QUE EN LAS AGUAS DE MAS-BAJA CONDUCTIVIDAD LAS DENSIDADES DE CORRIENTE DISMINUYEN CON RAPIDEZ EN FUN CION DE LA DISTANCIA AL ANODO.

111.2.- RECUBRIMIENTOS INORGANICOS:

111.2.1.- ESMALTES VITREOS :

LOS ESMALTES VITREOS ES DECIR, REVESTIMIENTOS DE VIDRIO Y ESMALTE DE- PORCELANA, SON ESCENCIALMENTE RECUBRIMIENTOS DE VIDRIO CON UN COEFICIENTE DE EXPANSION ADECUADO, FUNDIDOS SOBRE LOS METALES. EL VIDRIO EN FORMA DE POLVO

SE APLICA A LA SUPERFICIE METALICA DECAPADA O PREPARADA POR ALGUN OTRO MEDIO DESPUES SE CALIENTA EN UN HORNO A UNA TEMPERATURA QUE REBLANDEZCA EL VIDRIO Y PERMITA SU UNION AL METAL. ES POSIBLE APLICAR VARIAS CAPAS Y SU APLICACION PRINCIPAL ES EN EL ACERO AUNQUE TAMBIEN SE APLICAN ESTOS RECUBRIMIENTOS SOBRE COBRE, BRONCE Y ALUMINIO. ESTOS RECUBRIMIENTOS SON DECORATIVOS, PERO ADEMAS PROVEEN UNA PROTECCION EFICAZ DEL METAL BASE CONTRA LA CORROSION DE VARIADOS AMBIENTES AGRESIVOS.

SU CAPACIDAD PROTECTORA ES DEBIDA A LA IMPENETRABILIDAD DEL AGUA Y DEL OXIGENO DURANTE TIEMPOS DE EXPOSICION LARGOS Y A SU ESTABILIDAD Y DURACION A TEMPERATURAS AMBIENTE Y MAYORES, POR ESTO UNA DE SUS APLICACIONES ES EN LOS DEPOSITOS DE AGUA CALIENTE PROTEGIDOS CATODICAMENTE. AUN CUANDO SE PERMITEN POROS EN LOS CASOS EN LOS QUE LA PROTECCION CATODICA SUPLEMENTA LA PROTECCION DEL RECUBRIMIENTO CON VIDRIO, PARA ALGUNAS APLICACIONES, TALES COMO TANQUES PARA RESISTIR ACIDOS FUERTES, EL RECUBRIMIENTO DEBE SER PERFECTO Y SIN UN SOLO DEFECTO. EL PRINCIPAL PROBLEMA CON LOS REVESTIMIENTOS DE VIDRIO ES QUE SON SUSCEPTIBLES DE SUFRIR DETERIORO MECANICO Y AGRIETAMIENTO POR CHOQUE TERMICO. SI OCURREN DAÑOS SE PUEDEN REPARAR ALGUNAS VECES TAPANDO LOS HUECOS CON LAMINAS DE TANTALO O DE ORO.

LOS ACEROS ESMALTADOS PUEDEN DURAR EXPUESTOS A LA ATMOSFERA MUCHOS AÑOS Y EJEMPLOS DE SUS APLICACIONES SON CAJAS EXTERIORES DE BOMBAS DE GASOLINA, CARTELES DE PUBLICIDAD.

LOS FALLOS DE ESTOS RECUBRIMIENTOS SE ORIGINAN CON EL TIEMPO AL CREARSE GRIETAS A TRAVES DE LAS CUALES SE FORMA LA HERRUMBRE. OTRA APLICACION DE LOS ESMALTES VITREOS ES COMO PROTECCION CONTRA GASES A ALTAS TEMPERATURAS, POR EJEMPLO EN LOS TUBOS DE ESCAPE DE LOS AVIONES.

111 .2.2.- RECUBRIMIENTOS DE CEMENTO PORTLAND:

ESTOS TIENEN LA VENTAJA DE UN BAJO COSTO Y LA FACILIDAD DE APLICACION Y REPARACION. LOS RECUBRIMIENTOS SE PUEDEN APLICAR POR COLADA CENTRIFUGA (COMO SE HACE PARA EL INTERIOR DE LAS TUBERIAS), POR APLICACION CON PALETA O LLANA Y POR ASPERSION. LOS ESPESORES DE ESTOS RECUBRIMIENTOS VARIA ENTRE LOS 0.5 Y LOS 2.5 CM Y ES HABITUAL REFORZAR LOS RECUBRIMIENTOS MAS DELGADOS CON UNA MALLA DE ALAMBRE. ESTOS RECUBRIMIENTOS SE EMPLEAN PARA PROTEGER LAS TUBERIAS DE HIERRO COLADO O DE ACERO PARA AGUA POR EL LADO DE AGUA O DEL SUELO O AMBOS, CON RESULTADOS SATISFACTORIOS. ADEMAS ENCUENTRAN APLICACION

EN EL INTERIOR DE DEPOSITOS PARA AGUA CALIENTE Y FRIA, DEPOSITOS DE PETRO -
LEO Y DEPOSITOS DE ALMACENAMIENTO DE QUIMICOS, EN LA PROTECCION CONTRA EL --
AGUA DE MAR Y AGUAS DE MINA. ANTES DE EXPONER ESTOS RECUBRIMIENTOS A ME --
DIOS NO ACUOSOS, TALES COMO PETROLEO, SE DEJAN CURAR DURANTE UN PERIODO DE-
ENTRE 8 Y 10 DIAS.

LAS DESVENTAJAS DE ESTOS RECUBRIMIENTOS SON SU SENSIBILIDAD A LOS DAÑOS
MECANICOS Y A LOS CHOQUES TERMICOS. SIN EMBARGO, LOS DESPERFECTOS EN DEPO
SITOS ABIERTOS SE REPARAN FACILMENTE REVOCANDO LAS ZONAS AGRIETADAS CON CE -
MENTO NUEVO. EN LAS TUBERIAS DE AGUA FRIA LAS PEQUEÑAS GRIETAS SE TAPONAN-
CON EL PRODUCTO PROTECTOR QUE SE FORMA EN LA REACCION DEL OXIDO AL COMBINAR-
SE CON LOS PRODUCTOS ALCALINOS LIXIVIADOS DEL CEMENTO .

III.2.3.- RECUBRIMIENTOS OBTENIDOS POR TRANSFORMACION QUIMICA:

ESTOS RECUBRIMIENTOS SE FORMAN EN EL SITIO POR REACCION QUIMICA CON LA-
SUPERFICIE DEL METAL. ESTAN COMPRENDIDOS EN ESTA CLASE LOS RECUBRIMIENTOS-
ESPECIALES TAL COMO EL SULFATO DE PLOMO QUE SE FORMA CUANDO SE EXPONE PLOMO-
AL ACIDO SULFURICO O EL FLUORURO DE HIERRO QUE SE FORMA CUANDO SE LLENAN RE-
CIPIENTES DE ACERO CON ACIDO FLUORHIDRICO.

a.- RECUBRIMIENTOS DE FOSFATO: SOBRE ACERO RECIBE' EL NOMBRE DE "PARKE-
RIZADO" O "BONDERIZADO" Y SE OBTIENEN EXTENDIENDO SOBRE LA SUPERFICIE LIMPIA
DEL ACERO, POR MEDIO DE BROCHA O ROCIADO, UNA SOLUCION DILUIDA, FRIA O CA --
LIENTE, DE ORTOFOSFATO ACIDO DE ZINC Y DE MANGANESO. ESTOS RECUBRIMIENTOS
NO DAN POR SI MISMOS UNA PROTECCION APRECIABLE CONTRA LA CORROSION, SIND QUE-
SON UTILES COMO BASE PARA LAS PINTURAS YA QUE PROPORCIONAN BUENA ADHERENCIA-
DE LA PINTURA AL ACERO Y DISMINUYEN LA TENDENCIA A LA CORROSION QUE SOCAVA -
LA PELICULA DE PINTURA EN LOS ARRAZOS Y OTROS DEFECTOS SUPERFICIALES.

b.- RECUBRIMIENTOS DE OXIDO: SOBRE EL ACERO SE PREPARAN POR OXIDACION -
CONTROLADA EN AIRE A ALTA TEMPERATURA O POR INMERSION, COMO EJEMPLO EN SOLU-
CIONES DE ALCALIS CONCENTRADOS Y CALIENTES QUE CONTENGAN NITRATOS O CLOR --
TOS. AL IGUAL QUE LOS RECUBRIMIENTOS DE FOSFATOS NO SON PROTECTORES CONTRA-
LA CORROSION, PERO CUANDO SE FROTAN CON ACEITES O CERAS INHIBIDORAS SE OBTIE-
NE CIERTO GRADO DE PROTECCION. LOS RECUBRIMIENTOS DE OXIDO SOBRE ALUMINIO-
SE OBTIENEN A TEMPERATURA AMBIENTE POR OXIDACION ANODICA DEL ALUMINIO EN UN
ELECTROLITO ADECUADO, POR EJEMPLO ACIDO SULFURICO DILUIDO A DENSIDADES DE CO

RIENTE DE 1 O MAS A/dm², ESTE PROCESO SE LLAMA ANODIZADO. LOS RECUBRIMIENTOS OBTENIDOS POR INMERSION EN CALIENTE ENCUENTRAN SU PRINCIPAL APLICACION - EN CASOS DONDE SEA PRECISA RESISTENCIA A LA OXIDACION A TEMPERATURAS MODERADAMENTE ELEVADAS, COMO EN LA CONSTRUCCION DE ESTUFAS Y HORNOS DE BAJA TEMPERATURA.

111.3. - RECUBRIMIENTOS ORGANICOS:

LAS PINTURAS SON UNA MEZCLA DE PARTICULAS INSOLUBLES, QUE FORMAN EL PIGMENTO, SUSPENDIDAS EN UN VEHICULO ORGANICO. LOS PIGMENTOS SON POR LO GENERAL OXIDOS METALICOS, POR EJEMPLO; OXIDO DE TITANIO, DE PLOMO, DE HIERRO U -- OTROS COMPUESTOS COMO CROMATO DE ZINC, ARCILLAS, ETC. LOS VEHICULOS SUELEN SER UN ACEITE NATURAL, COMO POR EJEMPLO DE LINAZA, DE TUNG. CUANDO ESTOS - ACEITES, QUE SE LLAMAN SECANTES, SE EXPONEN AL AIRE SE OXIDAN Y POLIMERIZAN - SOLIDIFICANDOSE, PROCESO QUE SE PUEDE ACELARAR POR PEQUEÑAS CANTIDADES DE CA TALIZADORES TALES COMO JABONES DE PLOMO, MANGANESO O COBALTO.

EN LA ACTUALIDAD SE EMPLEAN RESINAS SINTETICAS COMO VEHICULOS O COMPO - NENTES DE LOS MISMOS, EN PARTICULAR DONDE SE REQUIERA CONTACTO CONTINUO CON EL AGUA O RESISTENCIA A LOS ACIDOS O A TEMPERATURAS MUY ELEVADAS. ESTAS RESINAS SE SECAN POR EVAPORACION DEL DISOLVENTE. LOS BARNICES SE COMPONEN - POR LO GENERAL DE UNA MEZCLA DE ACEITE SECANTE, RESINAS DISUELTAS Y UN DILU - YENTE VOLATIL. LAS LACAS SE COMPONEN DE RESINAS DISUELTAS EN UN DISOLVENTE VOLATIL Y EN OCASIONES CONTIENEN PIGMENTOS.

LAS RESINAS SINTETICAS COMPRENDEN FORMULAS A BASE DE FENOLFORMALDEHIDOS QUE RESISTEN EN AGUA HIRVIENTE Y AUN TEMPERATURAS ALGO SUPERIORES Y QUE SE - EMPLEAN EN LA INDUSTRIA QUIMICA EN FORMA DE CAPAS MULTIPLES, RESISTENTES A - DIVERSOS MEDIOS CORROSIVOS. LAS RESINAS DE SILICONAS TAMBIEN SE UTILIZAN - PARA TEMPERATURAS ELEVADAS SIMILARES.

LAS RESINAS VINILICAS PRESENTAN BUENA RESISTENCIA A LA PENETRACION DEL - AGUA Y SU RESISTENCIA A LOS ALCALIS LAS HACE UTILES PARA PINTAR ESTRUCTURAS - QUE VAYAN A SER PROTEGIDAS COTODICAMENTE. LAS PINTURAS AL ACEITE DE LINAZA - Y AL ACEITE DE TUNG, COMO COMPARACION SE SAPONIFICAN RAPIDAMENTE Y SE DESIN - TEGRAN POR LOS PRODUCTOS ALCALINOS DE REACCION QUE SE FORMAN EN EL CATODO EN AGUAS Y EN EL SUELO.

1 LAS RESINAS EPOXICAS TAMBIEN SON RESISTENTES A LOS ALCALIS Y MUCHOS - -

OTROS MEDIOS QUIMICOS Y TIENEN LA PROPIEDAD CARACTERISTICA DE ADHERIRSE - - BIEN A LAS SUPERFICIES METALICAS. EN GENERAL LAS PINTURAS NO SON UTILES PARA PROTEGER ESTRUCTURAS ENTERRADAS, ENTRE OTRAS RAZONES, PORQUE ES DIFICIL EVITAR EL DANO MECANICO QUE POR EL CONTACTO CON EL SUELO SUFREN LOS RECUBRIMIENTOS DELGADOS, HABIENDOSE DEMOSTRADO EN LOS ENSAYOS REALIZADOS QUE SU VIDA ES RELATIVAMENTE CORTA. SE HAN ENCONTRADO MUCHO MAS PRACTICAS Y ECONOMICAS LAS APLICACIONES DE GRUESAS CAPAS DE ALQUITRAN DE HULLA.

LAS PINTURAS NORMALES AL ACEITE DE LINAZA-TUNG NO SON DURADERAS PARA ESTRUCTURAS METALICAS SUMERGIDAS EN AGUA, EXCEPTO PARA PERIODOS CORTOS (DE UN AÑO O MENOS), Y EN AGUA CALIENTE ES MAS CORTA AUN. SE OBTIENE UNA PROTECCION MAS ADECUADA POR VARIOS AÑOS APLICANDO 4 O 5 CAPAS DE PINTURA DE VEHICULO SINTETICO. PERO DEBIDO AL GASTO QUE REPRESENTA EL APLICAR TAL NUMERO DE CAPAS DE PINTURA, EN MUCHAS APLICACIONES EN AGUA NATURAL O DE MAR SE EMPLEA EN SU LUGAR RECUBRIMIENTOS GRUESOS DE ALQUITRAN DE HULLA. EN GENERAL LAS PINTURAS SE COMPORTAN MEJOR PARA PROTEGER A LOS METALES CONTRA LA CORROSION ATMOSFERICA Y ESTA ES SU FUNCION PRINCIPAL. SE ESTIMA QUE DE LA PRODUCCION TOTAL DE PINTURAS DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA, LA MITAD SE EMPLEA EN LA PROTECCION CONTRA LA CORROSION.

PARA PROTEGER CONTRA LA CORROSION UNA BUENA PINTURA DEBE REUNIR LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

1.- PROPORCIONAR UNA BUENA BARRERA CONTRA EL VAPOR: AQUI CUMPLEN MEJOR LA LABOR LOS PIGMENTOS QUE TIENEN LA FORMA DE LAMINAS QUE SE ORIENTAN EN SENTIDO PARALELO A LA SUPERFICIE DEL METAL (POR EJEMPLO; POLVO DE ALUMINIO, - - HEMATITES MICACEO).

YA QUE DE ESTA MANERA SE SELLAN CON EFECTIVIDAD LOS POROS Y OTROS DEFECTOS.

2.- INHIBIR CONTRA LA CORROSION: AQUI LOS PIGMENTOS INHIBIDORES DE CORROSION DEBERIAN SER LO SUFICIENTE SOLUBLES PARA PROPORCIONAR LA CONCENTRACION MINIMA DE IONES INHIBIDORES NECESARIA PARA REDUCIR LA VELOCIDAD DE CORROSION, PERO NO EN TAL GRADO QUE EN POCO TIEMPO SE ACABE LA PINTURA.

DE ENTRE TODOS LOS PIGMENTOS QUE SE HAN RECOMENDADO SOLO UNOS POCOS --- CUMPLEN EN REALIDAD CON LA MISION REQUERIDA Y ENTRE ELLOS ESTAN EL ROJO PLOMO (Pb_3O_4), EL CROMATO DE ZINC.

3.- PROPORCIONAR LARGA VIDA A BAJO COSTO: ASI EN UN PLAN DETERMINADO DE

PINTADO QUE DURE 5 AÑOS, SE JUSTIFICA EMPLEAR PINTURA QUE CUESTE EL DOBLE, - SI LA PINTURA MAS CARA TIENE UN 35% MAS DE DURACION O CASI 7 AÑOS (ESTO DEBIDO A QUE LA RELACION DE COSTOS MANO DE OBRA-PINTURA ES DE 2:1).

111.3.1.- REVESTIMIENTOS PLASTICOS:

UNIENDO UNA LAMINA GRUESA DE PLASTICO O GOMA A LAS SUPERFICIES DE ACE- RO SE LOGRA PROTECCION CONTRA LOS ACIDOS, ALCALIS, LIQUIDOS CORROSIVOS Y GA SES EN GENERAL. ENTRE LOS MATERIALES QUE SE EMPLEAN COMO REVESTIMIENTOS - PLASTICOS ESTAN LA GOMA, EL NEOPRENO Y EL CLORURO DE VINILDENO (SARAN). - UN ESPESOR DE 3 mm O MAS CONSTITUYE UNA BUENA BARRERA DE DIFUSION Y PROTEGE EL METAL BASE CONTRA EL ATAQUE DURANTE LARGO TIEMPO. ESTE TIPO DE RECUBRI MIENTO ES DE COSTO ELEVADO LO CUAL IMPIDE SU EMPLEO, SALVO EN MEDIOS ALTA - MENTE CORROSIVOS, TALES COMO LOS QUE SON FRECUENTES EN LA INDUSTRIA QUI - HICA.

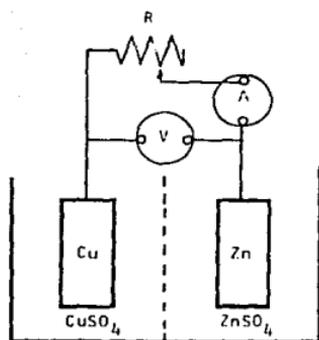
LOS RECUBRIMIENTOS DE PLASTICO DE VINILO O POLIETILENO SE APLICAN TAM- BIEN EN FORMA DE CINTA ADHESIVA, EN PARTICULAR PARA PROTEGER ESTRUCTURAS ME TALICAS ENTERRADAS.

ESTA CINTAS TIENEN UN EMPLEO PRACTICO PARA RECUBRIR TUBERIA Y EQUIPO - AUXILIAR, TAL COMO EMPALMES DE TUBERIAS Y VALVULAS, EXPUESTAS AL SUELO.

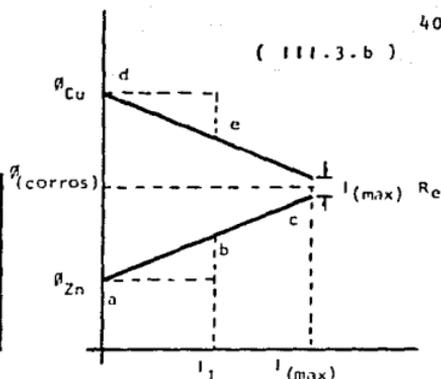
UNO DE LOS PLASTICOS MAS ESTABLES EN CUANTO A RESISTIR UNA AMPLIA VA - RIEDAD DE MEDIOS QUIMICOS ES EL TETRAFLUORETILENO ("TEFLON"). EL TEFLON - NO ES FUERTE Y SOMETIDO A ESFUERZOS TIENDE A DEFORMARSE CON FACILIDAD. SU EXTREMADO CARACTER INERTE HACE DIFICIL UNIRLO A CUALQUIER CLASE DE SUPERFI CIE. ENCUENTRA SU APLICACION EN REVESTIMIENTOS, EMPAQUETADURAS Y VALVULAS DE DIAFRAGMA.

111.4.- PROTECCION CATODICA:

CONSIDERANDO NUEVAMENTE LA PILA DE Cu-Zn Y SU CURVA DE POLARIZACION -- QUE SE MUESTRAN EN LAS SIGUIENTES FIGURAS: (111.3.a) Y (111.3.b).



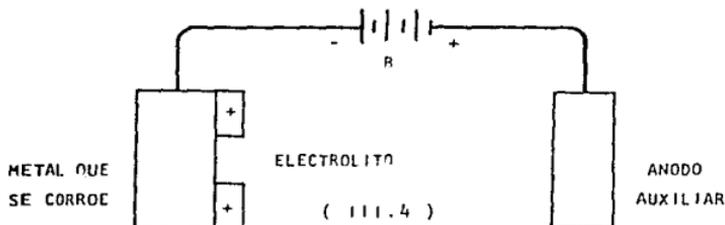
(III.3.a)



(III.3.b)

SE OBSERVA QUE SI LA POLARIZACION DEL CATODO SE LLEVA, MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA CORRIENTE EXTERNA, MAS ALLA DEL POTENCIAL DE CORROSION HASTA ALCANZAR EL POTENCIAL DEL ANODO EN CIRCUITO ABIERTO, AMBOS ELECTRODOS ADQUIEREN EL MISMO POTENCIAL Y DE ESTA MANERA NO PUEDE HABER CORROSION DEL ZINC.

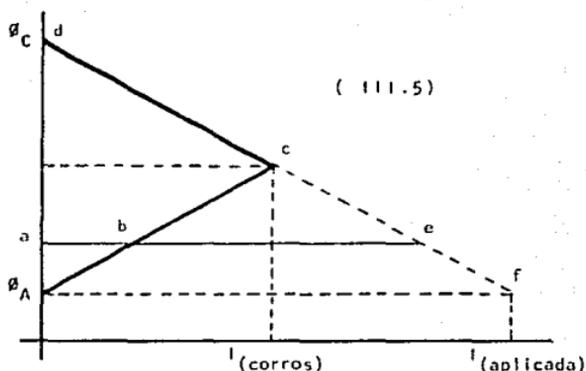
LO ANTERIOR ES LA BASE DE LA PROTECCION CATODICA DE LOS METALES, LA CUAL ES UN MEDIO PRACTICO PARA REDUCIR LA VELOCIDAD DE CORROSION. LA PROTECCION CATODICA SE CONSIGUE SUMINISTRANDO UNA CORRIENTE EXTERNA AL METAL QUE SE CORROE, EN CUYA SUPERFICIE HAY PILAS GALVANICAS DE ACCION LOCAL, COMO SE MUESTRA EN EL ESQUEMA III.4



(III.4)

LA CORRIENTE SALE DEL ANODO AUXILIAR Y ENTRA EN LAS AREAS CATODICAS Y ANODICAS DE LAS PILAS DE ACCION LOCAL Y RETORNA A LA FUENTE DE CORRIENTE CONTINUA B. CUANDO LAS AREAS CATODICAS ESTAN POLARIZADAS POR UNA CORRIENTE EXTERNA HASTA ALCANZAR EL VALOR DEL POTENCIAL EN EL CIRCUITO ABIERTO DE LOS ANODOS, ENTONCES LA SUPERFICIE DEL METAL ESTA AL MISMO POTENCIAL Y NO FLUYE CORRIENTE DE ACCION LOCAL. EL METAL NO SE CORROE EN TANTO SE MANTENGA LA CORRIENTE EXTERNA. EL DIAGRAMA DE POLARIZACION III.5 PARA ESTE SISTEMA SE-

MUESTRA A CONTINUACION:



EN ESTE DIAGRAMA $I_{aplicada}$ ES LA CORRIENTE NECESARIA PARA LA PROTECCION COMPLETA.

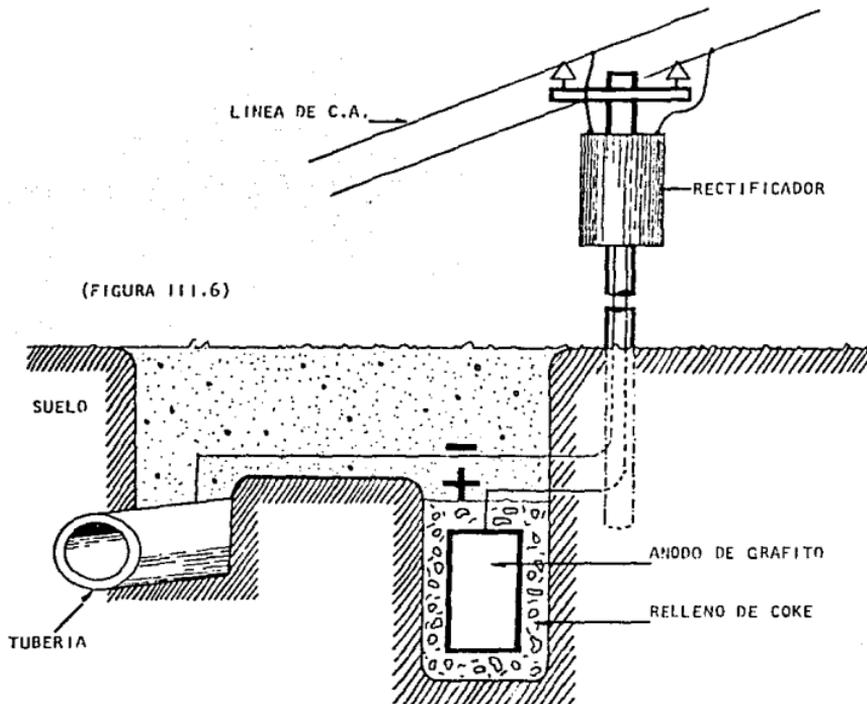
SI EL METAL SE POLARIZA UN POCO MAS ALLA DEL POTENCIAL DE CIRCUITO ABIERTO E_A DEL ANODO, LA VELOCIDAD DE CORROSION ES NULA. SIN EMBARGO LA CORRIENTE EMPLEADA EN EXCESO PUEDE DAÑAR A LOS RECUBRIMIENTOS DE LOS METALES. EN LA PRACTICA LA CORRIENTE APLICADA SE MANTIENE CERCANA AL MINIMO TEORICO. SI LA CORRIENTE APLICADA ESTA POR DEBAJO DE $I_{aplicada}$, AUN ASI SE CONSIGUE CIERTO GRADO DE PROTECCION.

111.4.1.- APLICACION DE LA PROTECCION CATODICA:

EXISTEN DOS FORMAS DE APLICAR LA PROTECCION CATODICA; LA PRIMERA DE ELLAS REQUIERE UNA FUENTE DE CORRIENTE DIRECTA Y UN ELECTRODO AUXILIAR (ANODO) QUE POR LO GENERAL ES DE HIERRO O GRAFITO, QUE SE COLOCA A UNA CIERTA DISTANCIA DE LA ESTRUCTURA A PROTEGER. EL POSITIVO DE LA FUENTE DE C.D. SE CONECTA AL ANODO Y EL NEGATIVO A LA ESTRUCTURA A PROTEGER. ASI DE ESTA FORMA LA CORRIENTE FLUYE DEL ELECTRODO, A TRAVES DEL ELECTROLITO, A LA ESTRUCTURA. EL VOLTAJE A APLICAR NO ES CRITICO, SOLO SE NECESITA QUE SEA SUFICIENTE PARA SUMINISTRAR UNA DENSIDAD DE CORRIENTE ADECUADA A TODAS LAS PARTES DE LA ESTRUCTURA A PROTEGER. POR LO TANTO EN SUELOS Y AGUAS DE ALTA RESISTIVI

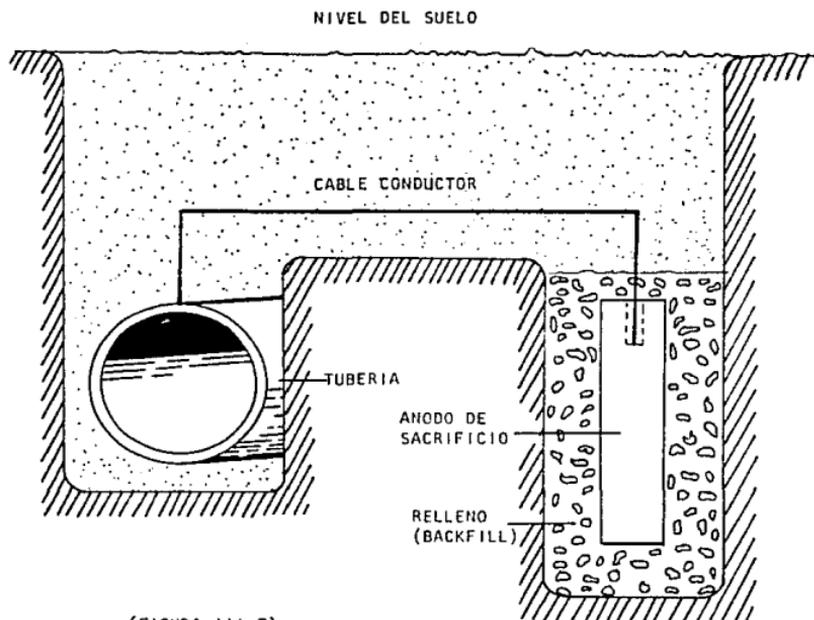
DAD EL VOLTAJE DEBERA SER MAS ALTO QUE EN MEDIOS DE BAJA RESISTIVIDAD.
 ESTE METODO QUE SE DESCRIBIO RECIBE EL NOMBRE DE PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA.

EN LA FIGURA III.6 SE MUESTRA ESQUEMATICAMENTE LA APLICACION DE ESTE METODO PARA LA PROTECCION DE UNA TUBERIA ENTERRADA EN EL SUELO.



EL SEGUNDO METODO RECIBE EL NOMBRE DE PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO Y CONSISTE EN QUE EN ESTE CASO EL ANODO SE COMPONE DE UN METAL MAS ACTIVO EN LA SERIE GALVANICA QUE EL METAL QUE SE VA A PROTEGER, DE ESTA MANERA SE ESTABLECE UNA PILA GALVANICA CON UN FLUJO DE CORRIENTE QUE VA-

DESDE EL ANODO DE SACRIFICIO HACIA LA ESTRUCTURA A PROTEGER. ASI LA FUENTE DE CORRIENTE DIRECTA SE ELIMINA. LOS METALES QUE MAS SE UTILIZAN COMO ANODOS DE SACRIFICIO SON EL MAGNESIO (Y SUS ALEACIONES) Y EL ZINC, EN MENOR CANTIDAD EL ALUMINIO. EN LA SIGUIENTE FIGURA III.7 SE MUESTRA LA APLICACION DE ESTE METODO PARA LA PROTECCION DE UNA TUBERIA ENTERRADA.



III.4.2.- PROTECCION CATODICA EN COMBINACION CON RECUBRIMIENTOS:

LA DISTRIBUCION DE CORRIENTE EN LAS ESTRUCTURAS PROTEGIDAS CATODICAMENTE NO ES IDEAL.

POR LO TANTO SE PUEDE EMPLEAR UN RECUBRIMIENTO QUE NO NECESITA ESTAR EXENTO DE POROS, YA QUE LA CORRIENTE PROTECTORA FLUYE CON PREFERENCIA A LAS ZONAS METALICAS EXPUESTAS, DONDE QUIERA QUE ESTEN SITUADAS Y QUE SON LAS ZONAS-QUE NECESITAN PROTECCION. LA CORRIENTE REQUERIDA ES MENOR PARA LAS ESTRUCTURAS RECUBIERTAS POR LO QUE LOS ANODOS DE SACRIFICIO DURAN MAS.

III.4.3.- MAGNITUD DE LA CORRIENTE REQUERIDA:

EN GENERAL LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE NECESARIA PARA LA PROTECCION CATODICA COMPLETA DEPENDE DEL METAL Y DEL MEDIO. LA DENSIDAD DE CORRIENTE APLICADA SIEMPRE DEBE EXCEDER LA DENSIDAD DE CORRIENTE EQUIVALENTE A LA VELOCIDAD DE CORROSION DETERMINADA EN EL MISMO MEDIO.

III.4.4.- CRITERIOS DE PROTECCION:

LA EFICACIA DE LA PROTECCION CATODICA, EN LA PRACTICA, SE ESTABLECE DE DIFERENTES MANERAS. POR EJEMPLO, EN UNA TUBERIA ENTERRADA HACE TIEMPO SE CONTRASTAN EL NUMERO DE FUGAS OBSERVADAS EN FUNCION DEL TIEMPO, ENTONCES SE ADVIERTE QUE LAS FUGAS OBSERVADAS POR AÑO DISMINUYEN HASTA UN NUMERO PEQUEÑO-DESPUES DE INSTALAR LA PROTECCION CATODICA.

ES POSIBLE COMPROBAR LA EFECTIVIDAD DE LA PROTECCION CATODICA POR ENSAYOS DE CORTA DURACION, DE LOS QUE SE PUEDEN MENCIONAR DOS:

1.- ENSAYOS CON MUESTRA; EN ESTE CASO SE PUEDE CITAR EL EJEMPLO DE UNA TUBERIA METALICA ENTERRADA Y PROTEGIDA CATODICAMENTE, A LA QUE SE LE UNE UN TROZO DE METAL DE PESO CONOCIDO POR MEDIO DE UN CABLE DE CONEXION SOLDADO. EL CABLE Y LA SUPERFICIE ENTRE LA MUESTRA Y LA SUPERFICIE DE LA TUBERIA SE CUBREN CON ALQUITRAN DE HULLA. DESPUES DE UN TIEMPO (QUE PUEDE IR DE VARIAS SEMANAS A UNOS MESES) SE RETIRA LA MUESTRA, SE LIMPIA Y SE DETERMINA LA PERDIDA DE PESO. DE ESTA FORMA SE PUEDE JUZGAR SI LA PROTECCION CATODICA DE LA TUBERIA ES COMPLETA.

2.- ENSAYOS COLORIMETRICOS; SE PUEDE MENCIONAR EL EMPLEO DE UNA SOLUCION DE FERRICIANURO POTASICO. QUE SE EMPLEA DE LA SIGUIENTE FORMA: SE LIMPIA UNA ZONA DE UNA TUBERIA ENTERRADA, SE EMPAPA UN PEDAZO DE PAPEL ABSORBENTE CON LA SOLUCION Y SE PONE EN CONTACTO CON LA ZONA DESCUBIERTA DE LA TUBERIA.-DESPUES DE UN TIEMPO SE EXAMINA EL PAPEL, UN COLOR AZUL DE FERRICIANURO INDICA QUE LA PROTECCION ES INCOMPLETA Y LA AUSENCIA DE ESTE COLOR INDICA UNA PRO

TECCION SATISFACTORIA.

CABE SEÑALAR QUE AMBOS METODOS SON CUALITATIVOS Y NO DAN INFORMACION SOBRE SI LA CORRIENTE SUMINISTRADA ES LA NECESARIA PARA UNA ADECUADA PROTECCION.

III.4.5.- LA SOBREPROTECCION:

UNA SOBREPROTECCION MODERADA DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS NO ES PERJUDICIAL. LA PRINCIPAL DESVENTAJA DE LA SOBREPROTECCION ES LA PERDIDA DE ELECTRICIDAD Y EL CONSUMO MAS RAPIDO DE LOS ANODOS (DE SACRIFICIO O AUXILIARES).

EN CASOS EXTREMOS DE SOBREPROTECCION, SE PRODUCEN DESVENTAJAS ADICIONALES, DADO QUE EN LA ESTRUCTURA QUE SE PROTEGE SE GENERA HIDROGENO EN TAL CANTIDAD QUE SE OCASIONA EL DESCONCHADO DE RECUBRIMIENTOS ORGANICOS O LA FRAGILIZACION DEL ACERO (PERDIDA DE DUCTILIDAD POR ABSORCION DE HIDROGENO). EN EL CASO DEL Al, Zn, Pb, Sn, EL EXCESO DE ALCALIS GENERADOS EN LA SUPERFICIE DE LOS SISTEMAS SOBREPROTEGIDOS, DAÑA A ESTOS METALES PRODUCIENDO UN AUMENTO DEL ATAQUE EN LUGAR DE REDUCIR LA CORROSION.

III.4.6.- MEDIDAS DE POTENCIAL:

CON LA MEDIDA DEL POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA PROTEGIDA SE OBTIENE UN CRITERIO QUE NOS INDICA EL GRADO DE PROTECCION, INCLUYENDO LA SOBREPROTECCION, QUE SE TIENE CON LA PROTECCION CATODICA. EN EL CASO DE LAS LINEAS DE TRANSMISION PROTEGIDAS CATÓDICAMENTE ESTE ES EL CRITERIO QUE SE EMPLEA PARA MEDIR EL GRADO DE PROTECCION OBTENIDO.

ESTE CRITERIO SE BASA EN QUE LA PROTECCION CATODICA ES COMPLETA CUANDO LA ESTRUCTURA PROTEGIDA ESTA POLARIZADA AL POTENCIAL ANODICO EN CIRCUITO ABIERTO DE LAS PILAS DE ACCION LOCAL. ESTE POTENCIAL, OBTENIDO EMPIRICAMENTE, ES PARA EL CASO DEL ACERO IGUAL A -0.85 VOLTS CONTRA LA SEMIPILA DE REFERENCIA $Cu-CuSO_4$ SATURADO.

EN LA HOJA SIGUIENTE SE MUESTRA UN ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS DOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA, i.e. PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO Y PROTECCION CATODICA CON CORRIENTE IMPRESA.

111.4.7.- ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA:

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO,	1) AUTONOMIA 2) NO HAY GRANDES PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO 3) NO HAY PROBLEMAS DE ESPACIO 4) SIN INTERRUPCIONES EN EL SERVICIO 5) TENSIONES ELECTRICAS INOFENSIVAS 6) NO PROVOCA PROBLEMAS DE INTERFERENCIA CON OTRAS ESTRUCTURAS ENTERRADAS 7) BAJO COSTO EN PROBLEMAS MAS PEQUEÑOS	1) VOLTAJE RESTRINGIDO 2) PROBLEMAS EN SUELOS DE ALTA RESISTIVIDAD 3) ALTO COSTO DE LA ENERGIA
PROTECCION CATODICA CON CORRIENTE IMPRESA,	1) CAPACIDAD PRACTICA - MENTE ILIMITADA EN TENSION Y CORRIENTE 2) BAJO COSTO DE LA INVERSION INICIAL 3) BAJO COSTO DE LA ENERGIA	1) PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO 2) SUJETO A INTERRUPCIONES DEL ABASTECIMIENTO PRIMARIO DE ENERGIA 3) PRESENTA RIESGOS DE ACCIDENTES ELECTRICOS 4) DA LUGAR A PROBLEMAS DE INTERFERENCIA CON OTRAS ESTRUCTURAS ENTERRADAS 5) EXPUESTOS A DAROS POR TERCERAS PERSONAS

111.5.- COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA:

111.5.1.- ANODOS GALVANICOS:

ESTOS ANODOS SON LOS TAMBIEN NOMBRADOS ANODOS DE SACRIFICIO QUE ESTAN HECHOS DE UN METAL MAS ACTIVO EN LA SERIE GALVANICA QUE LA ESTRUCTURA METALICA A PROTEGER. LOS METALES MAS EMPLEADOS EN LA MANUFACTURA DE LOS ANODOS GALVANICOS SON EL MAGNESIO, EL ZINC Y EL ALUMINIO EN MENOR PROPORCION.

ANODOS DE MAGNESIO: LA MAYOR PARTE DE LOS ANODOS DE SACRIFICIO EN USO SON DE ESTE METAL; Y SOLO EN LOS ESTADOS UNIDOS SE CONSUMEN ANUALMENTE CON ESTE FIN ALREDEDOR DE 5000 TONELADAS. EL MAGNESIO PURO SE CORROE RAPIDAMENTE, POR LO QUE ES FRECUENTE ALEAR LOS ANODOS DE MAGNESIO CON ALUMINIO Y ZINC (EN DIFERENTES PORCENTAJES) PARA REDUCIR EL ATAQUE POR PICADURAS Y AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE CORRIENTE. SE HACEN ALEACIONES DE MAGNESIO DE ALTA PUREZA CON MANGANESO PARA TENER UN POTENCIAL MAS ALTO (CON MAYOR PRODUCCION DE CORRIENTE POR ANODO). LAS ALEACIONES MAS COMUNES QUE SE EMPLEAN EN LA PROTECCION CATODICA SON LA TIPO "GALVOMAG" Y LAS DE ALTA PUREZA. ESTAS ALEACIONES SE DESARROLLARON PARA TENER UNA MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DE ESTE MATERIAL CUANDO SE USA COMO ANODO DE SACRIFICIO. TEORICAMENTE EL MAGNESIO DEBE DE PROPORCIONAR 1000 AMPERES-hora/LIBRA, PERO EN LA PRACTICA SE HA COMPROBADO QUE EL MAGNESIO DE GRADO COMERCIAL NOS DA 250 AMPERES-hora/LIBRA, ES DECIR TIENE UNA EFICIENCIA DEL 25%. POR OTRO LADO Y COMO SE MENCIONO, LAS ALEACIONES "GALVOMAG" Y DE ALTA PUREZA, NOS DAN UNA EFICIENCIA DEL 50% POR LO QUE LOS ANODOS DE SACRIFICIO PUEDEN EN EL MEJOR DE LOS CASOS PROPORCIONAR 500 AMPERES-hora/LIBRA.

LOS ANODOS DE MAGNESIO QUE SE UTILIZAN EN LA PROTECCION CATODICA DE ESTRUCTURAS ENTERRADAS CONTIENEN CIERTO PORCENTAJE DE ALUMINIO, MANGANESO, ZINC, SILICIO, COBRE, NIQUEL, HIERRO Y OTRAS IMPUREZAS. COMO UN EJEMPLO SE MUESTRA LA COMPOSICION DE LAS ALEACIONES, TAL Y COMO LAS ESPECIFICA LA COMPAÑIA NORTEAMERICANA HARCO, "GALVOMAG" Y DE ALTA PUREZA HI GRADO 1 (TABLA 111.8).

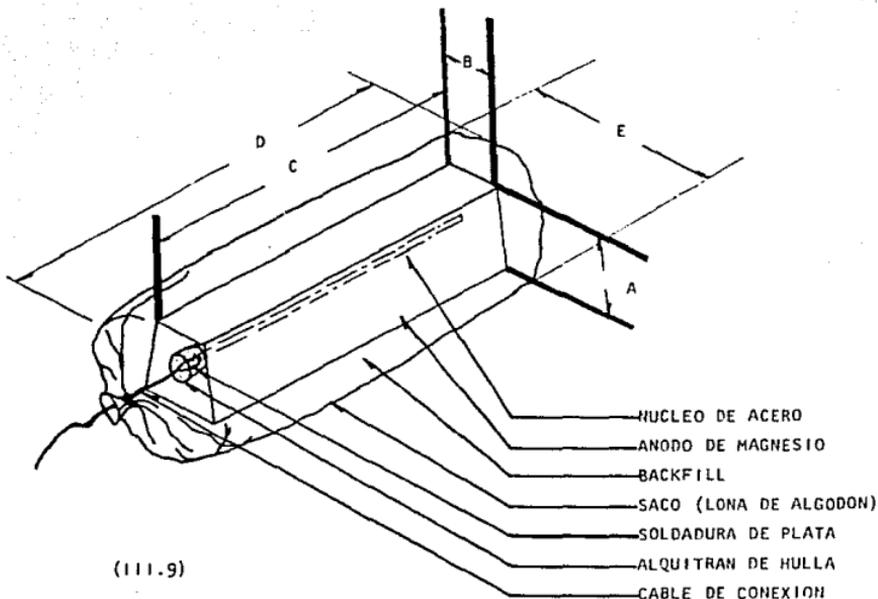
TODOS LOS ANODOS SON FUNDIDOS CON UN NUCLEO DE ACERO GALVANIZADO HUECO. EL PESO DEL NUCLEO NO DEBE DE EXCEDER DE 0.10 LIBRAS POR PIE LINEAL. UN EXTREMO DEL ANODO SE DEBE DE PERFORAR PARA PERMITIR QUE EL CABLE DE CONEXION (EL QUE CONECTARA EL ANODO CON LA ESTRUCTURA A PROTEGER) SE PUEDA SOLDAR CON UNA CONEXION DE PLATA AL NUCLEO DE ACERO.

ELEMENTO	"GALVOMAG"	GRADO 1
Al	0.010% MAXIMO	5.0-7.0%
Mn	0.50 A 1.3%	0.15% MINIMO
Zn		2.0-4.0%
Si		0.30% MAXIMO
Cu	0.02% MAXIMO	0.1% MAXIMO
Ni	0.001% MAXIMO	0.003% MAXIMO
Fe	0.03% MAXIMO	0.003% MAXIMO
OTRAS IMPUREZAS	0.05% CADA UNA 0.3% MAXIMO TOTAL	0.3% MAXIMO
MAGNESIO	EL RESTO	EL RESTO

TABLA (111.8)

EL CABLE DE CONEXION DEBE DE SER DEL No. 12 AWG CON FORRO DE POLIETILENO DE ALTO PESO MOLECULAR Y CON 3 M DE LONGITUD. LA CONEXION ENTRE EL ANODO Y EL CABLE DEBE DE SER SELLADO CON ALQUITRAN DE HULLA (ESTA RECOMENDACION TAMBIEN SE ENCUENTRA CONTENIDA DENTRO DE LA ESPECIFICACION D8500-02 DE C.F.E.). LOS ANODOS DE SACRIFICIO SE ENCOSTALAN EN SACOS DE UN MATERIAL BIODEGRADABLE QUE CONTIENE UNA MEZCLA ACTIVADORA (BACKFILL) COMPUESTA POR LO GENERAL DE UN 75% DE YESO, 20% DE BENTONITA, 5% DE SULFATO DE SODIO ANHIDRO. EL ESQUEMA DE UN ANODO DE SACRIFICIO DE MAGNESIO SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA DONDE LAS DIMENSIONES DEL MISMO, SON LAS QUE PROPORCIONA LA COMPAÑIA HARCO (ESQUEMA 111.9).

EN LA TABLA 111.10 SE DAN ALGUNOS EJEMPLOS DEL TOTAL DE FORMAS EN QUE SE PUEDEN ENCONTRAR ESTOS ANODOS.



ANODO DE MAGNESIO (EN LIBRAS)	DIMENSIONES NOMINALES (PULGADAS)					PESO TOTAL (LIBRAS)	MANERA DE EMPAQUE
	"A"	"B"	"C"	"D"	"E"		
17 # "H1"	4"	4"	17"	19"	6.5"	45 #	1 X SACO
32 "GALVOMAG"	5"	5"	21"	23"	8"	72 #	1 X SACO
48 "GALVOMAS"	5"	5"	31"	34"	8"	106 #	1 X SACO

TABLA (III.10)

LOS ANODOS DE MAGNESIO SE SELECCIONAN DE ACUERDO A TRES CONSIDERACIONES-BASICAS:

1.- LA VIDA DEL ANODO.- AQUI PODEMOS MENCIONAR QUE ENTRE MAS PESADO ES - EL ANODO MAS LARGA ES SU VIDA UTIL, ENTRE MAYOR ES LA CORRIENTE REQUERIDA --

MENOR ES LA VIDA DEL ANODO Y QUE ENTRE MAYOR SEA LA EFICIENCIA MAYOR ES LA VIDA UTIL.

2.- EL REQUERIMIENTO DE CORRIENTE.- ESTA GOBERNADO POR; LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO PUESTO QUE ENTRE MENOR SEA ESTA MAYOR ES LA CORRIENTE REQUERIDA, LA LONGITUD DEL ANODO YA QUE ENTRE MAS LARGO SEA ENTREGA MAYOR CORRIENTE; - EL POTENCIAL DE LA ALEACION, PORQUE ENTRE MAYOR SEA EL POTENCIAL MAYOR ES - LA CORRIENTE ENTREGADA.

3.- EL COSTO.- ENTRE MAS PESADO ES EL ANODO, MENOR ES SU COSTO POR LIBRA DE MAGNESIO; EL COSTO DE INSTALACION ES EL MISMO NO OBSTANTE EL TAMAÑO DEL ANODO A COLOCAR; SI EL COSTO DEL METAL ES APROXIMADAMENTE EL MISMO, LA ALEACION MAS EFICIENTE EN EL CASO QUE SE ESTE TRATANDO NOS PROPORCIONA EL - MAYOR NUMERO DE AMPERES-hora/LIBRA AL MENOR PRECIO; INSTALAR MAS ANODOS DE LOS ESTRICTAMENTE NECESARIOS PARA LA PROTECCION TOTAL DE LA ESTRUCTURA A -- PROTEGER, NO ES UN DESPERDICIO EN CUANTO A MATERIAL, PORQUE AUMENTA LA VIDA DEL TOTAL DE LOS ANODOS.

ANODOS DE ZINC: LOS ANODOS DE ZINC TIENEN UNA EFICIENCIA MAYOR QUE LA DEL MAGNESIO CON UN VALOR DE 90% POR LO QUE EL METAL ES USADO CASI EN SU TOTALIDAD PARA PROPORCIONAR UNA CORRIENTE DE PROTECCION DURANTE UNA VIDA UTIL DE CERCA DE 30 AÑOS. TEORICAMENTE EL ZINC ES CAPAZ DE PROVEER 372 AMPERES-hora/LIBRA. LOS ANODOS DE ZINC SON ESPECIALMENTE UTILES EN LA PROTECCION DE ESTRUCTURAS BIEN RECUBIERTAS, TANTO EN TERRENOS DE BAJA COMO DE ALTA RESISTIVIDAD Y SE UTILIZAN EN LA PROTECCION DE ESTRUCTURAS DE ACERO DE TODAS LAS FORMAS Y TAMAÑOS.

LOS ANODOS DE ZINC PARA LA PROTECCION DE ESTRUCTURAS ENTERRADAS SE FABRICAN DE LA MISMA MANERA QUE LOS ANODOS DE MAGNESIO Y LOS FABRICANTES TAMBIEN PROPORCIONAN LISTAS CON LAS DIMENSIONES Y PESO DE LAS DIFERENTES PRESENTACIONES QUE SE FABRICAN.

ANODOS DE ALUMINIO: ESTE ES EL TERCER METAL EMPLEADO COMO ANODO DE SACRIFICIO RESPECTO AL ACERO. TEORICAMENTE OPERA A UN VOLTAJE ENTRE EL DEL Zn (-0.85 v) Y EL DEL Mg (-1.4 v), ES UN METAL DE ALTA EFICIENCIA 95% Y PROPORCIONA TEORICAMENTE 1350 AMPERES-hora/LIBRA. SU USO ESTA LIMITADO COMO - EL DEL ZINC A MEDIOS DE BAJA RESISTIVIDAD, NO RECOMENDANDOSE PARA VALORES - MAYORES DE 600 OHMS-cm. GENERALMENTE ESTE METAL SE UTILIZA PARA PROTECCION CATODICA EN AGUA SALADA, PRINCIPALMENTE EN ESTRUCTURAS MARINAS.

11.5.2. ANODOS INERTES: ESTOS ANODOS SON LOS QUE SE EMPLEAN EN LA PROTECCION - CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA. LOS ANODOS INERTES PUEDEN SER SIMILARES - EN FORMA Y TAMAÑO A LOS ANODOS DE SACRIFICIO, PERO EN LUGAR DE QUE EL POTEN - CIAL DEL METAL SE OBTENGA DEL MATERIAL DEL QUE ESTE HECHO DEL ANODO, SE OB - TIENE DE UNA FUENTE DE CORRIENTE DIRECTA. DADO QUE LA CORRIENTE ES ALIMEN - TADA POR UNA FUENTE EXTERNA, EL MATERIAL DEL ANODO USADO COMO DISPOSITIVO - DE TIERRA, REQUIERE DE DISTINTAS PROPIEDADES DE LAS QUE POSEEN LOS ANODOS - DE SACRIFICIO YA QUE ESTE SISTEMA DE TIERRA DEBE DE SER DE UN BAJO COSTO DE DESGASTE ANUAL.

EL COSTO DEL ANODO DEPENDE DE LOS SIGUIENTES FACTORES: EL DISEÑO; LA VI DA REQUERIDA; LA CORRIENTE QUE SE VA A DRENAR; EL VOLTAJE QUE PRETENDE DAR - SE; LA FACILIDAD DE REEMPLAZAMIENTO.

LOS ANODOS INERTES QUE SE EMPLEAN EN LA ACTUALIDAD SON LOS DE GRAFITO, - LOS DE UNA ALEACION DE FERROSILICIO, EN MENOR PROPORCION SE EMPLEAN ANODOS - DE PLATINO Y DE PLOMO.

ANODOS DE GRAFITO: ESTOS ANODOS SON LOS MAS EMPLEADOS YA QUE ESTE MATE - RIAL TIENE UNA MAGNIFICA CONDUCTIVIDAD Y SU CONSUMO ES BAJO EN LA MAYOR PAR - TE DE LOS SUELOS.

EL CONSUMO NORMAL DE ESTOS ANODOS ES DE ENNTRE 0.2 A 0.5 LIBRAS/AMPER - ARO, PERO SI LA CORRIENTE QUE SE LES DEMANDA ES MAYOR A 1 AMPER/PIE² DE SU - PERFICIE ANODICA, SU CONSUMO SE INCREMENTA CONSIDERABLEMENTE PORQUE SE FOR - MA OXIGENO EN LA SUPERFICIE DE LOS ANODOS DE GRAFITO DESTRUYENDOLOS. PARA EVITAR QUE EL OXIGENO ENTRE EN CONTACTO CON EL ANODO, SE INSTALAN EN UN AGU - JERO DE MAYOR DIAMETRO Y SE LLENA EL ESPACIO CON GRAFITO TRITURADO O CON CO - KE. ENTONCES ES EL CILINDRO DE COKE O GRAFITO TRITURADO EL QUE ENTRA EN -- CONTACTO CON EL TERRENO Y LA EVOLUCION DE OXIGENO SE PRESENTA EN LA INTER-- FASE COKE-SUELO O GRAFITO SUELO. LOS ANODOS DE GRAFITO VIENEN EN FORMA CI - LINDRICA ALARGADA Y SUS MEDIDAS MAS COMUNES SON: 3" X 60" Y 4" X 80".

ANODOS DE FERROSILICIO: ESTOS ANODOS SON DE UNA ALEACION RELATIVAMENTE FRAGIL, AUNQUE MUCHO MAS RESISTENTE AL IMPACTO QUE EL GRAFITO. UN ANALISIS TIPICO DE LA ALEACION DEL MATERIAL ES LA QUE SIGUE:

SILICIO	14.35%
CARBON	0.85%
MANGANESO	0.65%
Fe	DIFERENCIA
	100.00%

DADO QUE ESTOS ANODOS SON MAS RESISTENTES QUE LOS DE GRAFITO, SU EMPLEO EN LUGAR DE ESTOS SE DA CUANDO EL TERRENO NO PROPORCIONA UNA PROTECCION FISICA SEGURA PARA LOS ANODOS DE GRAFITO. LOS ANODOS DE FERROSILICIO SE FABRICAN CON UNA FORMA CILINDRICA CUYAS DIMENSIONES MAS COMUNES SON: EN CUANTO AL DIAMETRO 1, 1½, 2 Y 3"; Y DE LARGO 9, 12, 30, 60".

SE DEBE DE TENER ESPECIAL CUIDADO EN LA CONEXION DEL CABLE EN LA CABEZA DEL ANODO, YA QUE CUALQUIER PENETRACION DE HUMEDAD EN ESTA PARTE PRODUCE DAÑOS SEVEROS POR ELECTROLISIS Y EL CABLE SE PUEDE DESPRENDER DEL ANODO. PARA EVITAR QUE LO ANTERIOR SUCEDA, EL FORRO DEL CABLE DEBE DE SER DE UNA FABRICACION ESPECIAL Y LA CONEXION DEBE QUEDAR PERFECTAMENTE AISLADA

ANODOS DE PLATINO: ESTE METAL NOBLE PRESENTA UN CONSUMO NULO A CUALQUIER DENSIDAD DE CORRIENTE QUE SE EMPLEE Y DADO QUE ES MUY BUEN CONDUCTOR PUEDE MANEJAR, SIN PROBLEMA, GRANDES CANTIDADES DE CORRIENTE.

EL PROBLEMA QUE PRESENTA ESTE MATERIAL ES SU ALTO COSTO, POR LO QUE SU USO ES RESTRINGIDO. SE UTILIZA EN FORMA DE FILAMENTOS O LAMINAS DELGADAS. CUANDO EL ANODO EMPLEADO ES FILAMENTO DE PLATINO PURO, SE REQUIERE UNA BUENA VIGILANCIA CONTRA ROBOS, POR LO QUE NO SE UTILIZA EN ESPACIOS ABIERTOS, SINO SOLAMENTE EN AREAS INDUSTRIALES BIEN CONTROLADAS.

LA CORRIENTE ALTERNA SUELE PROVOCAR CORROSION EN LOS ANODOS DE PLATINO, POR LO QUE SE DEBE PROCURAR QUE LA FUENTE, SI ES UN RECTIFICADOR, PROPORCIONE UNA CURVA, EN CORRIENTE DIRECTA, LO MAS CONTINUA Y PLANA POSIBLE.

ANODOS DE PLOMO: LA UTILIZACION DE ESTE MATERIAL ES ESCENCIALMENTE EN AGUA DE MAR.

EL PLOMO PURO PRESENTA UN GRAN DESGASTE, POR LO QUE SE ALEA CON 1% DE PLATA Y 6% DE ANTIMONIO, OBTENIENDOSE ASI UNA ALEACION CON MAGNIFICA RESISTENCIA AL DESGASTE Y CON UNA MUY BUENA TOLERANCIA DE DENSIDADES DE CORRIENTE.

OTRA DE LAS VENTAJAS DE LA CITADA ALEACION ES SU FACILIDAD PARA SER FUNDIDA Y MOLDEADA, LO QUE PERMITE AL DISEÑADOR AJUSTAR EL PESO Y LA FORMA DE LOS ANODOS CON MAYOR LIBERTAD. EXISTEN EN EL MERCADO ALEACIONES DE PLOMO-PLATINO QUE SE RECOMIENDAN PARA SER USADAS EN AGUA DE MAR. SE UTILIZAN LOS ANODOS DE PLOMO EN APLICACIONES EN SUELOS Y EN AGUA DULCE, AUNQUE SE TRATA DE EVITAR EN LO POSIBLE ESTA ULTIMA APLICACION DADO QUE EL PLOMO ES UN ION-

VENENOSO, AUN EN BAJAS CONCENTRACIONES EN EL AGUA POTABLE.

111.5.3.- MATERIALES COMPLEMENTARIOS:

DISPOSITIVOS PARA LA IMPRESION DE CORRIENTE: EN EL CASO DE LA PROTECCION CATODICA POR CORRIENTE IMPRESA, SE NECESITA DE UNA FUENTE EXTERNA QUE NOS PROPORCIONE LA CORRIENTE DE PROTECCION. DE TAL MANERA QUE LOS DISPOSITIVOS MAS COMUNES SON:

1.- GENERADORES DE VIENTO.- ESPECIALMENTE UTILES EN LUGARES APARTADOS-DE LAS ZONAS INDUSTRIALIZADAS, DONDE NO EXISTE LA POSIBILIDAD DE CONSEGUIR-ABASTECIMIENTO DE CORRIENTE ALTERNA EN FORMA ECONOMICA.

2.- GENERADORES MECANICOS.- SE TRATA DE GENERADORES DE C.D. GENERALMENTE ACCIONADOS POR UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA. ESTA SOLUCION NO ES MUY EMPLEADA, DADO SU ELEVADO COSTO DE MANTENIMIENTO Y TAMBIEN DEBIDO A QUE RARA VEZ PROPORCIONA UN SERVICIO CONTINUO Y ECONOMICO.

3.- GENERADORES TERMOELECTRICOS.- ESTOS SON FUENTES DE CORRIENTE DIRECTA DE CAPACIDAD RESTRINGIDA, QUE FUNCIONAN EN BASE A LA CAPACIDAD QUE TIENEN ALGUNAS SUSTANCIAS (COMO EL TELURURO DE PLOMO) PARA CONVERTIR EL CALOR EN ENERGIA DIRECTAMENTE.

LOS TIPOS COMERCIALES ACTUALES CUBREN CAPACIDADES DE HASTA 72 WATTS, - TENSIONES DE 7.2 VOLTS Y CORRIENTES DE HASTA 20 AMPERES POR UNIDAD.

EL TELURURO DE PLOMO ES CALENTADO POR MEDIO DE UNOS QUEMADORES CATALITICOS PARA GAS NATURAL O GAS L.P., DONDE LA COMBUSTION SE LLEVA A CABO A -- UNA TEMPERATURA RELATIVAMENTE BAJA. EL HECHO DE CONTAR CADA DIA CON MAS FACILIDADES PARA OBTENER C.A. EN LUGARES APARTADOS ES UN FACTOR QUE FREHA SU-UTILIZACION.

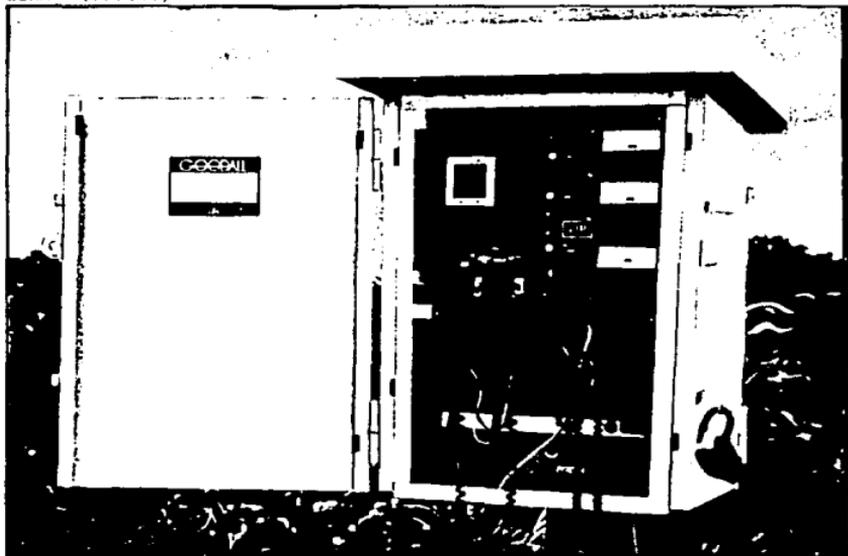
4.- RECTIFICADORES DE C.A..- ESTA ES SIN DUDA LA FUENTE MAS EXTENDIDA-EN CUANTO A SU UTILIZACION EN LA PROTECCION CATODICA. ESTOS POSEEN CAPACIDAD PRACTICAMENTE ILIMITADA EN CUANTO A VOLTAJE Y CORRIENTE. LA CORRIENTE-ALTERNA DE BAJA TENSION SE ALIMENTA A UN TRANSFORMADOR INTERNO, DONDE EL --VOLTAJE SE AJUSTA A LA DEMANDA.

EL VOLTAJE REGULADO SE ALIMENTA A UN RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA, DE AHI SALE LA CORRIENTE RECTIFICADA A LOS BORNES DE SALIDA DEL APARATO. EN --UNO DE LOS CONDUCTORES SE INTERCALA UN AMPERMETRO DE C.D. Y ENTRE AMBOS --

BORNES DE SALIDA SE COLOCA UN VOLTMETRO.

AMBOS INSTRUMENTOS SON TIPO TABLERO, INSTALADOS PERMANENTEMENTE.

UN RECTIFICADOR DE C.A. MARCA "GOODALL" SE MUESTRA EN LA SIGUIENTE FIGURA (111.11)



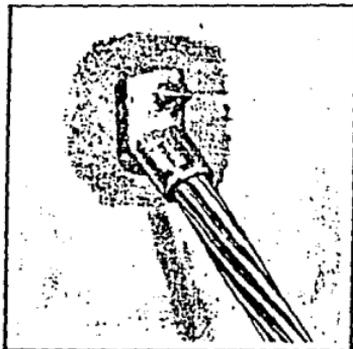
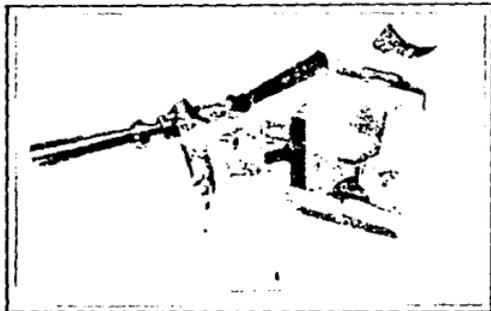
LOS RECTIFICADORES CUENTAN CON PROTECCION CONTRA CORTO CIRCUITO, TANTO EN C.A. COMO EN C.D., ASI COMO PROTECCION CONTRA DESCARGAS ELECTROSTATICAS. ESTOS APARATOS SE COMPLEMENTAN EN SU ALIMENTACION CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO, FUSIBLES Y APARTARRAYOS.

ELECTRODO DE REFERENCIA: PARA LAS MEDICIONES DE POTENCIAL DE LAS ESTRUCTURAS PROTEGIDAS CATODICAMENTE Y COMO COMPLEMENTO DEL INSTRUMENTO MCM-MILLER, SE UTILIZA EL ELECTRODO DE REFERENCIA COBRE SULFATO DE COBRE.

RECUBRIMIENTO: DE ACUERDO A ESPECIFICACIONES DE C.F.E. LA ZONA ENTERADA DE LAS TORRES DE TRANSMISION DEBEN IR RECUBIERTAS POR ALQUITRAN DE HULLA CE-1090. ESTE SE UTILIZA EN COMBINACION CON UN SOLVENTE PARA REDUCIR SU ESPESOR Y TENER UNA MEJOR APLICACION DE LA PINTURA.

EQUIPO PARA BARREMAR: SE UTILIZA ESTE EQUIPO EN LA PERFORACION DEL SUELO DONDE SE ENTERRARA EL ANODO. SE EMPLEA UN MOTOR DE 8 HP, SIMILAR AL-MODELO 82 GROUND HONG, MODELO CHRYSLER DE 8 HP, ACOMPAÑADO DE UN PAR DE BRO-CAS PARA PERFORACION DE 10" DE DIAMETRO POR 3' DE LARGO Y DE 10" POR 6' - - DE LONGITUD.

EQUIPO PARA SOLDAR: ESTE EQUIPO INCLUYE UNA MANIJA PARA SUJETAR EL MOL-DE, EN EL CUAL SE INTRODUCE UN CARTUCHO DE SOLDADURA EN POLVO Y EL CHISPERO ESTE MATERIAL ES FABRICADO POR DIFERENTES MARCAS. EN LA FIGURA SE MUESTRA - UN MOLDE DE LA MARCA CADWELD (111.12.a y b)



EN PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO, EL CABLE QUE VIENE - - DEL ANODO SE SUELDA A LA ESTRUCTURA METALICA DE LA TORRE DE TRANSMISION COMO-SE MUESTRA EN LA ANTERIOR ILUSTRACION EN QUE SE ESPECIFICA, PARA LA MARCA - - CADWELD, EL TIPO DE MOLDE (VS) A EMPLEAR:

HERRAMIENTA:

USO

PALAS	EXCAVACION DE ZANJAS
PICOS	" "
GUANTES	" "
BROCHAS	APLICACION ALQUITRAN
CEPILLO DE	LIMPIAR ESTRUCTURA EN DONDE SE
ALAMBRE	SUELDA
PINZAS DE	CORTAR CABLE Y REMOVE
ELECTRICISTA	AISLAMIENTO
ROLLO DE ALAMBRE No. 12	PARA LAS CONEXIONES NECESARIAS

HERRAMIENTAS:**BATERIA DE 12****VOLTS****PARA OBTENER LAS CURVAS****POLARIZACION DE LAS ESTRUCTURAS**

ESTA HERRAMIENTA SE EMPLEA EN LAS MEDICIONES, EN LA INSTALACION Y EN EL AJUSTE DE LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO. - ES INDISPENSABLE CONTAR CON PLASTILINA EPOXICA (MASILLA ELECTRICA) Y CINTA-AISLANTE PARA AISLAR UNIONES.

POR ULTIMO ES NECESARIO ALAMBRE DE CHROMEL, DE LOS CALIBRES 20 Y 23 CU YO VALOR OHMICO ES CONOCIDO, PARA PREPARAR RESISTENCIAS A LA HORA DE AJUSTAR LOS SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA EN LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN IIIV.1.- NECESIDAD DE LA PROTECCION CATODICA EN LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II :

EN LAS ESTRUCTURAS METALICAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION SE PRESENTA LA DESTRUCCION DEL METAL EN TRES ZONAS DIFERENTES:

1.-ZONA AEREA: LA CORROSION EN ESTA ZONA CAUSA EL DETERIORO DEL METAL, ASI COMO SU DESINTEGRACION GRADUAL, DEBIDOS A LA ACCION DEL VIENTO QUE ARRASTRA CONSIGO PARTICULAS, ACIDOS, ALCALIS, LA PRESENCIA DE HUMEDAD, QUE CUANDO SE COMBINAN TRABAJAN ACTIVAMENTE PARA DESINTEGRAR EL GALVANIZADO INICIANDOSE DE ESTA MANERA LA CORROSION DEL ACERO QUE INTEGRA A LA ESTRUCTURA (PRINCIPALMENTE EN LAS CRUCETAS, HERRAJES, BRAZOS, UNIONES DONDE EXISTAN TUERCAS Y TORNILLOS).

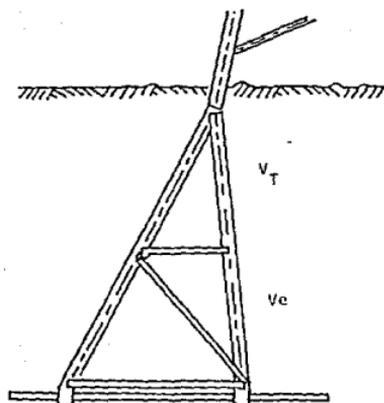
2.-ZONA ENTERRADA: ENTRE LOS FACTORES QUE GOBIERNAN LA CORROSIDIDAD DE LOS SUELOS SE CUENTAN LA POROSIDAD (AIREACION), LA RESISTIVIDAD, LA HUMEDAD, LA COMPOSICION FISICOQUIMICA. EN ESTA ZONA LA CORROSION ES PELIGROSA YA QUE EN ELLA SE ENCUENTRAN LAS PATAS O SOPORTES DE LA ESTRUCTURA.

EN EL DIBUJO IV.1 SE MUESTRA UN CORTE DE UN SOPORTE TIPICO, EN LA ILUSTRACION IV.2 SE APRECIA UN ELEMENTO DEL SOPORTE DE UNA TORRE QUE FUE CAMBIADO DEBIDO AL AVANZADO ESTADO DE CORROSION QUE PRESENTABA.

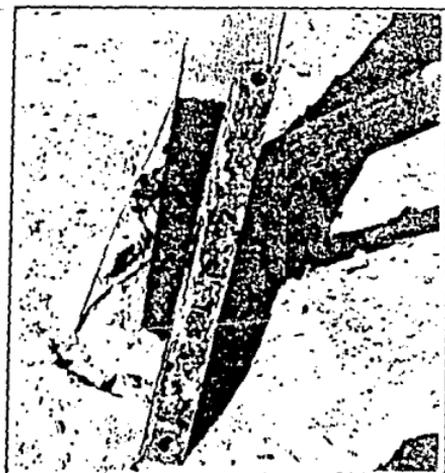
3.-ZONA INTERFASE: ES LA QUE SE ENCUENTRA EN EL LIMITE ENTRE LA ATMOSFERA Y EL TERRENO DONDE SE PRESENTA UNA DIFERENCIA EN CONTENIDO DE OXIGENO -- LO QUE OCASIONA QUE EL ACERO SEA SEVERAMENTE ATACADO.

DE LO ANTERIOR SE DESPRENDE LA IMPORTANCIA DE CONTAR CON METODOS QUE NOS AYUDEN A PREVENIR EL FENOMENO DE LA CORROSION, ENTRE LOS QUE SE ENCUENTRAN LOS SIGUIENTES:

DIBUJO
IV.1



ILUSTRACION
IV.2



1.- RECUBRIMIENTOS METALICOS: LOS ELEMENTOS DE LA TORRE SE CUBREN CON ZINC POR MEDIO DEL PROCESO DE GALVANIZADO QUEDANDO PROTEGIDOS DURANTE UNOS AÑOS HASTA QUE SE DESGASTA Y ACABA LA ACCION PROTECTORA DEL RECUBRIMIENTO.

2.- RECUBRIMIENTOS ORGANICOS E INORGANICOS: EN EL CASO DE LINEAS DE TRANSMISION SE APLICA ALQUITRAN DE HULLA EN LOS SOPORTES DE LAS TORRES. ESTE RECUBRIMIENTO LLEGA A TENER UNA VIDA HASTA DE 5 AÑOS.

3.- PROTECCION CATODICA: ES UN METODO QUE PUEDE MANTENERSE DURANTE UN TIEMPO INDEFINIDO SI SE TIENE CUIDADO DE DARLE UN MANTENIMIENTO ADECUADO.

CONSIDERANDO QUE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II SE LOCALIZA EN UNA REGION CON UNA HUMEDAD AMBIENTE CONSIDERABLE, POR LO QUE LAS TORRES SE ENCUENTRAN EXPUESTAS A UNA MAYOR AGRESIVIDAD DEL FENOMENO DE LA CORROSION, ES IMPRESCINDIBLE, PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LA LINEA, EL QUE ESTA SE PROTEJA CON LOS TRES METODOS ENUMERADOS ANTERIORMENTE.

IV.2.- PARAMETROS DE DISEÑO DE LA PROTECCION CATODICA EN LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II :

IV.2.1.- RESISTIVIDAD DEL TERRENO:

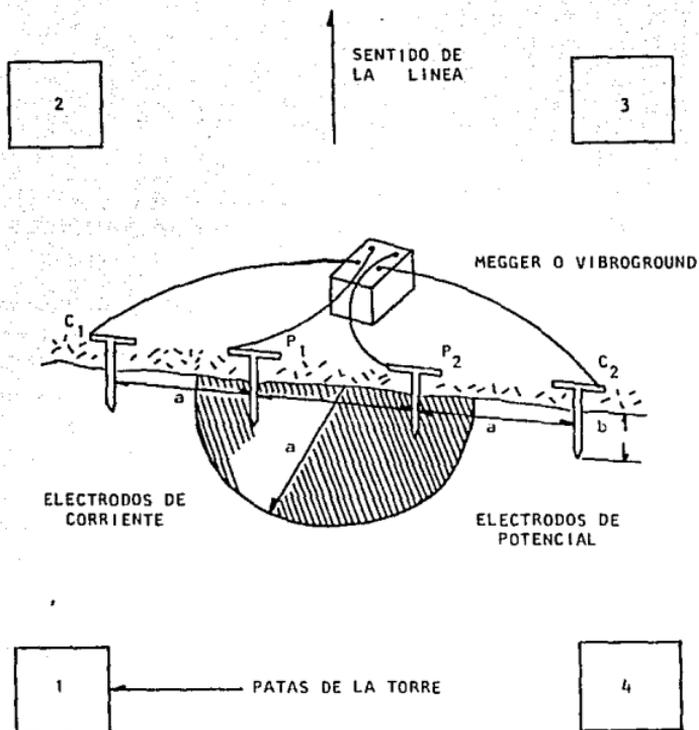
ESTE PARAMETRO SE UTILIZA PARA SELECCIONAR EL TIPO DE PROTECCION ANTICORROSIVA A EMPLEAR EN LA TORRE QUE SE INSTALARA EN EL SITIO DONDE SE REALICE LA MEDICION. PARA LLEVAR A CABO DICHA MEDICION SE HACE LO SIGUIENTE:

1.- SE EFECTUA LA MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO DURANTE EL TRAZO DE LA LINEA O EN EL MOMENTO DE LOCALIZAR LAS ESTRUCTURAS EN CAMPO.

2.- LA MEDICION SE INICIA EN EL CENTRO GEOMETRICO DONDE SE LOCALIZARA LA ESTRUCTURA.

3.- PARA REALIZAR LA MEDICION SE EMPLEA EL METODO DE LOS CUATRO ELECTRODOS O METODO DE WENNER, EL CUAL FUE DESARROLLADO POR FRANK WENNER EN EL AÑO DE 1915 Y CONSISTE EN HACER CUATRO AGUJEROS EN EL SUELO UNIFORMEMENTE REPARTIDOS, SE COLOCA UN ELECTRODO (UNA VARILLA TIPO COPPERWELD) EN CADA AGUJERO PROCURANDO QUE SE TENGA UN BUEN CONTACTO CON EL SUELO. DOS ELECTRODOS SON LOS LLAMADOS DE CORRIENTE (C) Y POR MEDIO DE LOS CUALES SE HACE CIRCULAR UNA CORRIENTE A TRAVES DEL TERRENO. LOS OTROS DOS ELECTRODOS SON LOS DE POTENCIAL (P). EN EL DIBUJO IV.3 SE MUESTRA LA FORMA DE COLOCAR LOS ELECTRO

DOS Y EL EQUIPO PARA REALIZAR LA MEDICION.

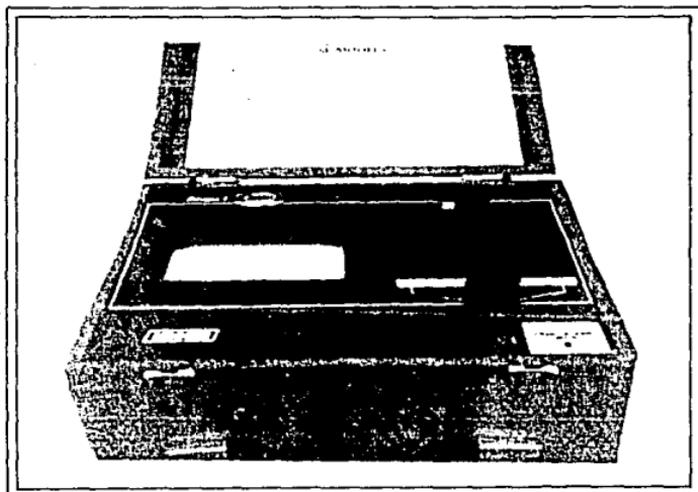


(IV.3)

4.- LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD RECOMIENDA EMPLEAR PARA ESTAS MEDICIONES LOS INSTRUMENTOS DE LA MARCA: MEGGER, FOTOGRAFIA IV.4., ESTE INSTRUMENTO TIENE LOS SIGUIENTES RANGOS PARA EFECTUAR LAS MEDICIONES DE 0-0.3; 0-10; 0-30 Y 0-300 OHMS.

Y EL VIBROGROUND CUYOS RANGOS SON DE 0-1; 0-10; 0-100; 0-1000 OHMS. -

LA SECUENCIA PARA REALIZAR LA MEDICION CON ESTOS INSTRUMENTOS ES LA SIGUIENTE: a) SE COLOCA EL INSTRUMENTO DE MEDICION NIVELADO EN EL SUELO. - -
b) SE AJUSTA MECANICAMENTE LA AGUJA DE EQUILIBRIO EN LA CARATULA DEL INSTRUMENTO EMPLEANDO EL TORHILLO QUE POSEE PARA TAL PROPOSITO. c) SE ACTIVA EL INSTRUMENTO Y SE MIDE LA RESISTENCIA (R) DEL TERRENO. d) LA DEFLEXION DE LA AGUJA SE AJUSTA CON LA PERILLA DE SELECTOR DE ESCALA Y SE AFINA CON LA(S) PERILLA(S) GRADUADA(S) HASTA LOGRAR EL EQUILIBRIO DE LA AGUJA EN LA CARATULA DEL INSTRUMENTO.



FOTOGRAFIA IV. 4

e) DE ACUERDO AL TRABAJO DE FRANK WEHNER, SI SE CONOCE LA DISTANCIA ENTRE LOS ELECTRODOS, LA RESISTENCIA DEL TERRENO Y LA PROFUNDIDAD A QUE ESTAN ENTERRADOS LOS ELECTRODOS, ES POSIBLE CALCULAR LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO MEDIANTE LA SIGUIENTE FORMULA:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{2a}{\sqrt{4a^2 + 4b^2}}} = \frac{4\pi a R}{n}$$

DONDE: a= DISTANCIA ENTRE LOS ELECTRODOS

b= PROFUNDIDAD A LA QUE SE ENTERRAN LOS ELECTRODOS

ρ = RESISTIVIDAD

R= RESISTENCIA MEDIDA

n= CONSTANTE QUE DEPENDE DE LA RELACION ENTRE b Y a QUE TIENE UN VALOR DE ENTRE 1 Y 2: SI b=a, n=1.87; SI b=2a, n=1.038; SI b=4a, n=1.003. ENTONCES SI b ES MUCHO MAYOR QUE a SE TIENE QUE $\rho = 4\pi a R$ Y SI a ES MUCHO MAYOR QUE b SE TIENE QUE $\rho = 2\pi a R$.

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD RECOMIENDA ENTERRAR LOS ELECTRODOS A UNA PROFUNDIDAD DE 35 cm Y COLOCARLOS A UNA DISTANCIA DE 1.6m Y DE 3.2m (POR LO QUE SE TIENEN DOS LECTURAS DE R EN EL MISMO LUGAR). POR LO ANTERIOR C.F.E. EMPLEA LA FORMULA:

$$\rho = 2\pi a R$$

LA RAZON POR LA CUAL C.F.E. RECOMIENDA QUE LA DISTANCIA a SEA DE 1.6 Y DE 3.2m ES QUE DE ESTA MANERA EL FACTOR $2\pi a$ EQUIVALE A:

$$(2\pi) (160) = 1,000$$

$$(2\pi) (320) = 2,000$$

DE ESTA FORMA SE FACILITA CALCULAR EL VALOR DE ρ EN EL CAMPO.

5.- LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO, AL EMPLEAR LOS FACTORES ANTERIORES SE EXPRESA EN ohms-cm Y DE ACUERDO AL VALOR OBTENIDO SE ELIGE LA PROTECCION ANTICORROSIVA A EMPLEAR, EN CONFORMIDAD CON LA SIGUIENTE TABLA: IV.5

VALOR DE RESISTIVIDAD EN ohms-cm		SELECCION DE PROTECCION ANTICORROSIVA
a=1.6m	a=3.2m	
menor que 2500	menor que 2500	<p>APLICAR ALQUITRAN DE HULLA EN SOPORTE DE LA TORRE HASTA 80-cm POR ENCIMA DEL NIVEL DEL SUELO.</p> <p>ADICIONAR PROTECCION CATODICA UTILIZANDO ANODOS DE ZINC DE 50 LIBRAS. NO REQUIERE PUESTA A TIERRA A MENOS QUE TENGA CIMENTACION DE CONCRETO.</p>
mayor que 2500	menor que 2500	
menor que 2500	mayor que 2500	
entre 2500-5000	entre 2500-5000	<p>APLICAR ALQUITRAN DE HULLA EN EL SOPORTE DE LA TORRE HASTA 80cm POR ENCIMA DEL NIVEL DEL SUELO.</p> <p>ADICIONAR PROTECCION CATODICA UTILIZANDO ANODOS DE MAGNESIO DE HASTA 48 LIBRAS. NO REQUIERE PUESTA A TIERRA A MENOS QUE TENGA CIMENTACION DE CONCRETO.</p>
entre 2500-5000	mayor que 5000	
mayor que 5000	entre 2500-5000	
entre 5000-10000	entre 5000-10000	<p>SE APLICA ALQUITRAN DE HULLA EN EL SOPORTE DE LA TORRE HASTA 80cm POR ENCIMA DEL NIVEL DEL SUELO. NO REQUIERE PROTECCION CATODICA Y EN CASO DE TENER CIMENTACION DE CONCRETO DEBE CONECTARSE A TIERRA.</p>
mayor que 10000	entre 5000-10000	
mayor que 10000	mayor que 10000	<p>NO REQUIERE RECUBRIMIENTO NI PROTECCION CATODICA. DEBE CONECTARSE A TIERRA.</p>

TABLA IV.5

UNA VEZ REALIZADAS EN CAMPO LAS LECTURAS DE RESISTIVIDAD SE VACIAN LOS RESULTADOS EN UN FORMATO DE REPORTE DE RESISTIVIDAD PARA PROTECCION CATODICA DE LINEA DE TRANSMISION ELABORADO POR LA GERENCIA DE PROYECTOS DE TRANSMISION Y TRANSFORMACION, EN EL QUE SE INCLUYE EL TIPO DE TERRENO EN EL QUE SE LOCALIZA CADA UNA DE LAS TORRES A PROTEGER.

EN LA SIGUIENTE HOJA SE MUESTRA DICHO FORMATO CON LAS LECTURAS OBTENIDAS PARA LAS TORRES 24 a 45 DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V.-TUXPAN II.

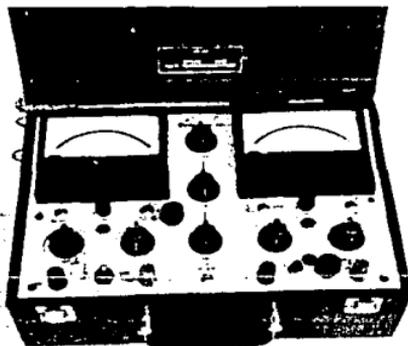
IV.2.2. - MEDICION PARA LA OBTENCION DE CORRIENTE DE PROTECCION CATODICA:

PARA EL DESARROLLO DE ESTAS MEDICIONES SE REQUIERE DE LOS SIGUIENTES ELEMENTOS:

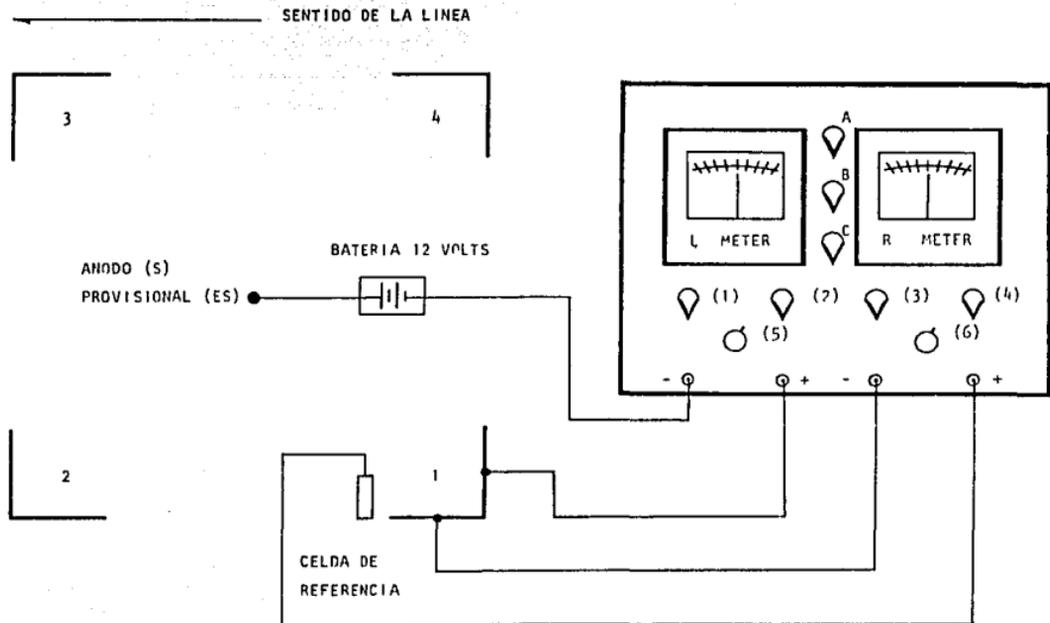
A) UNA FUENTE DE CORRIENTE DIRECTA, QUE POR LO GENERAL ES UNA BATERIA O UN BANCO DE BATERIAS CONECTADAS EN SERIE.

B) SE REQUIERE DE ANODOS PROVISIONALES, QUE PUEDEN SER VARILLAS COPPER-WELD. SE UTILIZA UN SOLO ANODO A MENOS QUE LA NATURALEZA DEL CIRCUITO QUE SE ESTABLESCA, CON RESISTENCIA VARIABLE, AFECTE LA CANTIDAD DE CORRIENTE DE PROTECCION DRENADA.

C) COMO INSTRUMENTO DE MEDICION LA C.F.E. RECOMIENDA EL USO DE UN MULTIMETRO MC. MILLER, EL CUAL CONSTA DE UN VOLTMETRO Y DE UN AMPERMETRO-VOLTMETRO. LA CONEXION DEL CIRCUITO PARA LLEVAR A CABO LAS MEDICIONES SE MUESTRA EN LA ILUSTRACION IV.6.b, MIENTRAS QUE EL INSTRUMENTO SE OBSERVA EN LA FOTOGRAFIA IV.6.a



IV.6.a



ILUSTRACION IV.6.b

PARA EFECTUAR LAS MEDICIONES SE DEBE DE SEGUIR EL SIGUIENTE PROCEDIMIENTO:

1.- TODAS LAS PERILLAS DEL INSTRUMENTO DEBEN DE ESTAR EN POSICION NORMAL.

2.- SE GIRA LA PERILLA 3 HASTA UNA ESCALA PERTINENTE, SE TOMA LA MEDICION COMO CORRECTA CUANDO AL GIRAR LA PERILLA 4 LA AGUJA DEL "R METER" (VOLT METRO) PERMANECE ESTABLE. DE NO SER ASI SE GIRA LA PERILLA 6 PARA REDUCIR LA RESISTENCIA DE CONTACTO DE LA CELDA DE REFERENCIA $Cu-CuSO_4$. SI CON ESTO NO SE LOGRA MANTENER ESTABLE LA AGUJA, ENTONCES SE PROCEDE A HOJAR EL TERRENO ALREDEDOR DE LA CELDA DE REFERENCIA Y SE REPITE ESTE PASO.

3.- SE PASA LA PALANCA 5 DEL "L METER" (AMPERMETRO/VOLTMETRO) A LA POSICION DE "AMPS" Y SE GIRA LA PERILLA 1 HASTA UNA ESCALA PERTINENTE; SE OBSERVA LA LECTURA EN EL "L METER".

4.- SE PASA LA PALANCA 5 A LA POSICION "AMPS WITH CONTROL" Y SE SELECCIONA EL REOSTATO (A, B O C). SE SUMINISTRA CORRIENTE AL CIRCUITO VARIANDO ESTE (REOSTATO); SE OBSERVA EN EL "R METER" EL POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA A CELDA.

5.- SE TABULAN LOS VALORES DE LA CORRIENTE PROPORCIONADA, EL POTENCIAL ALCANZADO INMEDIATAMENTE DESPUES DE INTERRUMPIR LA CORRIENTE, OPCIONALMENTE SE PUEDE TABULAR EL VALOR DEL POTENCIAL ANTES DE INTERRUMPIR LA CORRIENTE. EN ESTA TABULACION SE INCLUYE EL VALOR DEL POTENCIAL NATURAL DE LA ESTRUCTURA, ES DECIR EL POTENCIAL MEDIDO ANTES DE APLICAR NINGUNA CORRIENTE AL CIRCUITO.

PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CORRIENTE NECESARIA EN EL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA, SE UTILIZA EL CRITERIO DE LAS CURVAS DE TAFEL, EL CUAL CONSISTE EN GRAFICAR LOS VALORES DEL POTENCIAL OBTENIDO V_{of} CONTRA \log DE LA CORRIENTE SUMINISTRADA (i), EN LAS MEDICIONES. EN EL DESARROLLO DE LAS MEDICIONES SE UTILIZA EL METODO DE POLARIZACION E INTERRUPCION DE CORRIENTE (METODO DE LAS CORRIENTES MINIMAS) QUE CONSISTE EN SUMINISTRAR CANTIDADES DE CORRIENTE A LA ESTRUCTURA DURANTE UN TIEMPO DETERMINADO (GENERALMENTE DE 2 A 3 MINUTOS), AL CABO DEL CUAL, SE INTERRUMPE LA CORRIENTE Y SE LEE INMEDIATAMENTE EL POTENCIAL ALCANZADO, TAL Y COMO SE EXPLICO ANTERIORMENTE. AHORA BIEN EL CRITERIO DE TAFEL, PARA LA OBTENCION DE LA CORRIENTE DE PROTECCION,-

CONSISTE EN TRAZAR UNA RECTA VERTICAL EN EL POTENCIAL NATURAL DE LA ESTRUCTURA (V_n) Y OTRA RECTA QUE UNA LA MAYORIA DE LOS PUNTOS OBTENIDOS CON LAS MEDICIONES. LA INTERSECCION DE ESTAS DOS RECTAS NOS DA UN VALOR DE CORRIENTE QUE CORRESPONDE AL DE LA CORRIENTE NECESARIA PARA PROTEGER CATODICAMENTE LA ESTRUCTURA Y QUE POR LO TANTO ES LLAMADA LA CORRIENTE DE PROTECCION.

A CONTINUACION SE MUESTRAN LAS LECTURAS OBTENIDAS PARA LA TORRE No. 26 (TABLA IV.7) Y LA TORRE 27 (TABLA No. 8), DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN-P.V.- TUXPAN II.

TORRE NO. 26

Ca (mA)	V_n (VOLTS)	V_{on} (VOLTS)	V_{of} (VOLTS)	t (min)
500	0.807	1.067		3 min.
50			0.827	2
100			0.857	2
150			0.907	2
200			0.947	2
250			0.977	2
300			1.007	2
350			1.037	2
400			1.057	2

TABLA IV.7

DONDE:

V_n = POTENCIAL NATURAL
 C_a = CORRIENTE APLICADA
 V_e = POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA
 V_t = POTENCIAL DEL TERRENO
 V_{on} = VOLTAJE MEDIDO ANTES DE QUITAR C_a
 V_{of} = VOLTAJE MEDIDO DESPUES DE QUITAR C_a

$$V_t + V_e = V_{on}; V_e = V_{of}$$

TORRE NO. 27

Ca (mA)	Vn (VOLTS)	Von (VOLTS)	Vof (VOLTS)	t (min)
500	0.755	1.110		3 min.
50			0.790	2
100			0.835	2
150			0.875	2
200			0.935	2
250			0.985	2
300			1.025	2
350			1.060	2
400			1.110	2

TABLA IV.8

EN LAS DOS HOJAS SIGUIENTES SE ENCUENTRAN LAS CURVAS DE TAFEL PARA LAS MISMAS TORRES (GRAFICAS IV.9.a Y IV.9.b) EN DONDE SE INCLUYE EL VALOR DE LA CORRIENTE DE PROTECCION (C_p) PARA ESTAS ESTRUCTURAS.

IV.2.3. - MEDICIONES DE POTENCIAL ESTRUCTURA SUELO:

ESTAS MEDICIONES SE LLEVAN A CABO CON UN MULTIMEDIDOR MC. MILLER Y UNA CELDA DE REFERENCIA DE $Cu-CuSO_4$, DE ACUERDO CON LA SIGUIENTE CONEXION: - - - (FIGURA IV.10.a)

LOS PASOS A SEGUIR SON:

- 1.- TODAS LAS PERILLAS DEBEN DE ESTAR EN POSICION NORMAL.
- 2.- SE GIRA LA PERILLA 3 HASTA UNA ESCALA PERTINENTE, SE TOMA LA MEDICION COMO CORRECTA CUANDO AL GIRAR LA PERILLA 4 LA AGUJA DEL "R METER" (VOLT METRO) PERMANECE ESTABLE. DE NO SER ASI SE GIRA LA PERILLA 6 PARA REDUCIR LA RESISTENCIA DE CONTACTO DE LA CELDA DE REFERENCIA DE $Cu-CuSO_4$. SI CON ESTO NO SE LOGRA MANTENER ESTABLE LA AGUJA, ENTONCES SE MOJA EL TERRENO ALREDEDOR DE LA CELDA DE REFERENCIA Y SE REPITE DE NUEVO ESTE PASO.

(GRAFICA IV.9.a)

TORRE 26
Cp 88 mA

mA

500
400
300
200
100
50

10

LINEA RECTA QUE UNE
LA MAYORIA DE PUN -
TOS.

LA CURVA DE TAFEL SE TRAZA
CON LOS VALORES DE V_{of} .

LA INCLINACION DE ESTA RECTA, QUE
UNE V_n CON EL PUNTO DONDE SE SUMI -
NISTRA MENOR C_a , NOS PROPORCIONA -
UN FACTOR DE SEGURIDAD.

0.6

0.7

0.8

$V_n=0.807$ VOLTS

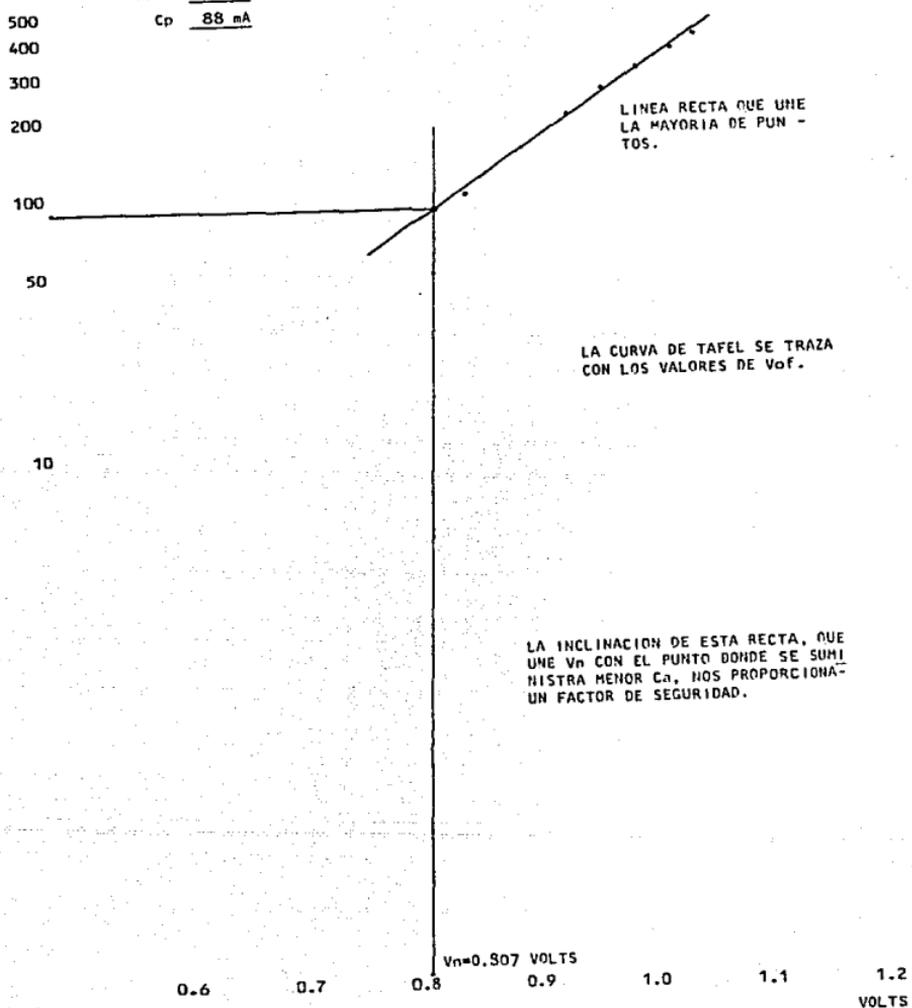
0.9

1.0

1.1

1.2

VOLTS



mA

(GRAFICA IV.9.b)

70

TORRE 27
Cd 100 mA

500
400
300
200
100
50
10

0.6

0.7

V_n = 0.755 VOLTS
0.8

0.9

1.0

1.1

1.2
VOLTS

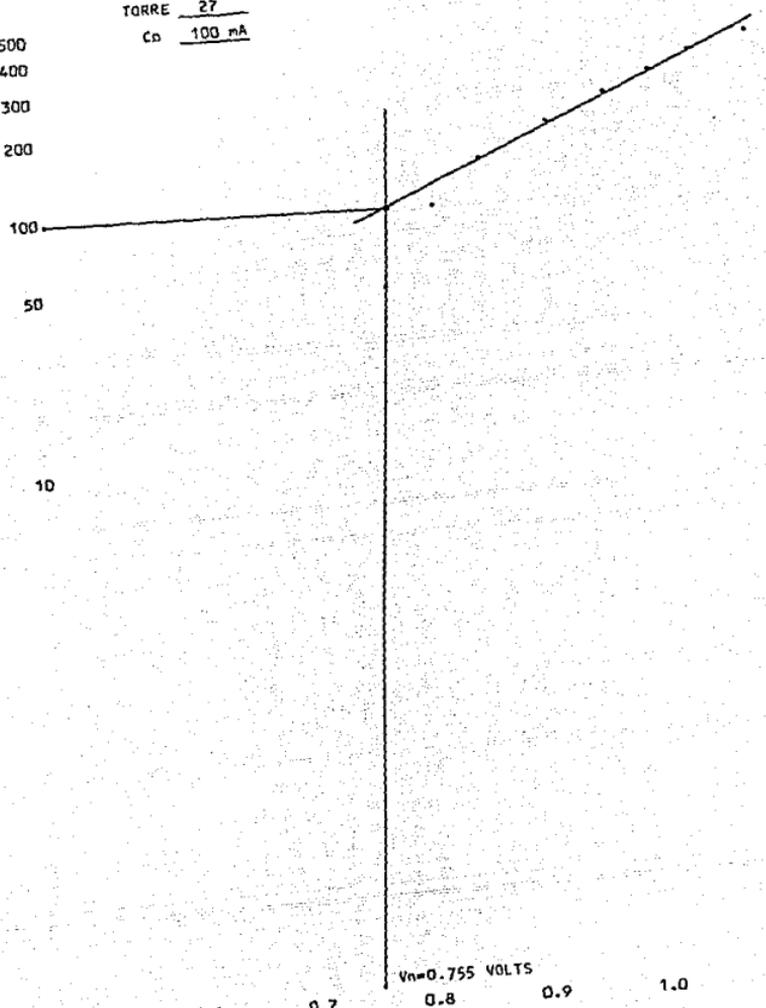
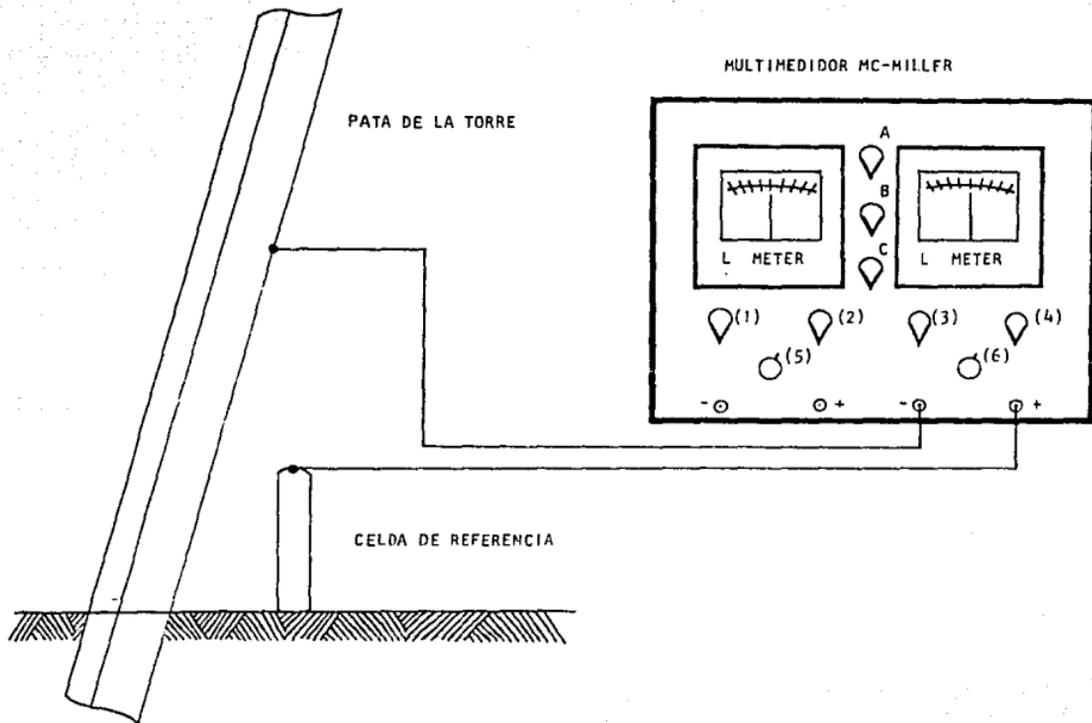


FIGURA IV.10.a



LA MEDICION DEL POTENCIAL ESTRUCTURA SUELO ES USADA PARA EVALUAR EL PROBLEMA DE LA CORROSION ANTES Y DESPUES DE SER APLICADA LA PROTECCION CATORICA, OBTENIENDOSE ASI, UN RESULTADO CUALITATIVO DE LAS CONDICIONES EN QUE SE ENCUENTRA LA ESTRUCTURA.

PARA ESTE FIN LA SUBGERENCIA DE PRODUCCION DE C.F.E. HA ELABORADO LA SIGUIENTE TABLA: (IV.10.b)

POTENCIAL (EN VOLTS) RESPECTO A $Cu-CuSO_4$	ESTADO DE LA ESTRUCTURA
mayor o igual a 1	ACERO GALVANIZADO RECIENTEMENTE ENTERRADO.
1 a 0.85	ACERO GALVANIZADO EN BUEN ESTADO.
0.85 a 0.75	ACERO GALVANIZADO CON PEQUEÑAS AREAS CORROIDAS.
0.75 a 0.60	ACERO GALVANIZADO CON CORROSION GENERALIZADA.
0.60 a 0.45	ACERO GALVANIZADO TOTALMENTE CORROIDO. ACERO GALVANIZADO PARCIALMENTE AHOGADO. EN CONCRETO. ACERO GALVANIZADO TOTALMENTE AHOGADO EN CONCRETO PERMEABLE.
0.45 a 0.35	ACERO GALVANIZADO AHOGADO EN CONCRETO PARCIALMENTE PERMEABLE. BUEN ESTADO DE LA PATA. NOTA: EN EL CASO DEL CONCRETO, A MAYOR POTENCIAL MAYOR PERMEABILIDAD Y MAYOR CORROSION.
0.35 a 0.20	ACERO GALVANIZADO AHOGADO EN CONCRETO EN MUY BUEN ESTADO. EL CONCRETO NO PERMITE LA CORROSION DEL GALVANIZADO.

IV.3.- SELECCION DE ANODOS A UTILIZAR

DE ACUERDO AL CRITERIO DE LA TABLA IV.5 SE UTILIZAN ANODOS DE MAGNESIO- EN LA PROTECCION CATODICA DE LA TORRE No. 26, EN TANTO QUE SE HARA USO DE -- ANODOS DE ZINC EN LA TORRE No. 27.

A CONTINUACION SE EJEMPLIFICA LA SELECCION DE LOS ANODOS A UTILIZAR, -- PRIMERO CON ANODOS DE MAGNESIO Y ENSEGUIDA CON ANODOS DE ZINC.

IV.3.1.- ANODOS DE MAGNESIO:

L.T. TUXPAN P.V.- TUXPAN II TORRE No. 26 FECHA _____

1.- DATOS DE CAMPO:

RESISTIVIDAD DEL SUELO (R_0) 1700 ohm-cm a 1.6 m

POTENCIAL NATURAL (V_n) 0.807 volts

CORRIENTE DE PROTECCION(C_p) 88 mA

CORRIENTE DE DISEÑO (C_d) $1.15 \times C_p = 1.15 \times 88 = 101.1$ mA

(*) FACTOR ASOCIADO CON(Y) $Y = 2.19 - (1.4 V_n)$
 EL POTENCIAL NATU-- $Y = 2.19 - (1.4 \times 0.807) = 1.06$
 RAL

(**)FACTOR ASOCIADO CON(F)
 EL PESO DEL ANODO

ANODO	(F)
91b	0.71
17 "	1.0
321b	1.06
48 "	1.09

NOTA:

(*) ESTE FACTOR SE UTILIZA PARA CORREGIR EL VALOR DE LA CORRIENTE DRENA DA POR EL ANODO DE SACRIFICIO CUANDO EL POTENCIAL NATURAL DE LA ES - TRUCTURA ES DIFERENTE DE -0.85 VOLTS. CUANDO SE UTILIZAN ANODOS - DE MAGNESIO DICHO FACTOR SE CALCULA DE ACUERDO A LA EXPRESION DADA.

(**)ESTE FACTOR ES NECESARIO TAMBIEN PARA CORREGIR LA CORRIENTE QUE EN - TREGA UN ANODO DE SACRIFICIO, YA QUE DEPENDIENDO DEL PESO DEL ANODO ESTE TIENE DIFERENTES DIMENSIONES (LARGO, ANCHO), LO CUAL AFECTA LA VIDA UTIL DEL MISMO Y POR LO TAMO ALTERA LA ECUACION DE TEFAN - - KJIAN.

2.- CORRIENTE DRENADA POR ANODO (C.D.A.):

AL LLEGAR A ESTE PUNTO SE OBTIENE LA C.D.A. PARA CADA TIPO DE ANODO EMPLEADO POR C.F.E. i.e. DE 9, 17, 32 Y 48 1b. LA C.D.A. SE OBTIENE POR MEDIO DE LA ECUACION DESARROLLADA POR D.A. TEFANKJIAN DE LA CORPORACION DE TRANSMISION DEL ESTE DE TEXAS. ESTA ECUACION ES LA SIGUIENTE:

$$C.D.A. = \frac{150.000 F Y}{R_o}$$

Y SE DESARROLLO PARA CALCULAR LA CORRIENTE DRENADA POR UN ANODO TIPO -- "GALVOMAG" DE 17 1b, CUANDO EL POTENCIAL NATURAL DE LA ESTRUCTURA ES DE - -0.85 VOLTS, LA DISTANCIA ENTRE EL ANODO Y LA ESTRUCTURA ES DE 10 PIES, LA RESISTIVIDAD DEL SUELO ES MAYOR A 500 Ω -cm Y LA ESTRUCTURA A SER PROTEGIDA - ESTA MAL RECUBIERTA O NO TIENE RECUBRIMIENTO ALGUNO.

C.F.E. TIENE POR NORMA CUIDAR QUE LAS ESTRUCTURAS ESTEN RECUBIERTAS PERFECTAMENTE, POR LO QUE SE ASUME SE TENDRA UNA CORRIENTE 20% MEJOR, QUEDANDO LA ECUACION DE D.A. TEFANKJIAN COMO SIGUE:

$$C.D.A. = \frac{120,000 F Y}{R_o}$$

ENTONCES TENEMOS PARA NUESTRO EJEMPLO:

$$C.D.A. \#9 = \frac{120,000 (0.71) (1.06)}{1700} = 53.12 \text{ mA}$$

$$C.D.A. \#17 = \frac{120,000 (1.0) (1.06)}{1700} = 74.82 \text{ ''}$$

$$C.D.A. \#32 = \frac{120,000 (1.06) (1.06)}{1700} = 79.31 \text{ ''}$$

$$C.D.A. \#48 = \frac{120,000 (1.09) (1.06)}{1700} = 81.56 \text{ ''}$$

3.- NUMERO DE ANODOS (No.):

EN ESTE PUNTO, NUEVAMENTE SE OBTIENE No. PARA CADA UNO DE LOS TIPOS DE ANODO QUE CONSIDERA C.F.E. .

No. DE ANODOS =	$\frac{\text{CORRIENTE DE DISEÑO}}{\text{CORRIENTE DRENADA POR ANODO}}$
No. # 9 =	$\frac{101.2}{53.12} = 1.91 = 3$ ANODOS
No. #17 =	$\frac{101.2}{74.82} = 1.35 = 2$ "
No. #32 =	$\frac{101.2}{79.31} = 1.28 = 2$ "
No. #48 =	$\frac{101.2}{81.56} = 1.24 = 2$ "

EFECTO PANTALLA:

EL EFECTO PANTALLA SE BASA EN LA INTERFERENCIA QUE ENTRE SI TIENEN LOS - - ANODOS, EN CUANTO A SU DRENAJE DE CORRIENTE, DEBIDO A LA PROXIMIDAD QUE ENTRE ELLOS TENGAN AL SER INSTALADOS.

<u>No. DE ANODOS</u>	<u>E.P.</u>
2	1.856
3	2.635
4	3.386
5	4.207
6	5.132
7	5.455
8	6.451
9	7.219

4.- CORRIENTE TOTAL DRENADA (C.T.D.):

LA CORRIENTE TOTAL DRENADA SE OBTIENE AL IGUAL QUE LOS DOS PUNTOS ANTERIO - RES, PARA CADA UNO DE LOS TIPOS DE ANODO Y ESTA DADA POR LA SIGUIENTE EXPRESION:

C.T.D. =	C.D.A. x E.P.
C.T.D. #9 =	$53.12 \times 2.635 = 139.97$ mA
C.T.D. #17 =	$74.82 \times 1.856 = 138.87$ "
C.T.D. #32 =	$79.31 \times 1.856 = 147.20$ "
C.T.D. #48 =	$81.56 \times 1.856 = 151.38$ "

5.- TIEMPO DE VIDA ESPERADO (T.V.E.):

EN ESTE PUNTO SE ESCOGE CUAL DE LOS TIPOS DE ANODO ES EL QUE SE VA A EMPLEAR DE ACUERDO A CRITERIO DE C.F.E. QUE CONSIDERA UN T.V.E. DE POR MENOS 15 AÑOS DURANTE ESTE T.V.E. EL ANODO DEBERA ENTREGAR UNA CORRIENTE CERCANA A LA DE DISEÑO.

PARA OBTENER EL T.V.E. SE UTILIZA LA SIGUIENTE FORMULA:

$$T.V.E. = \frac{K \times \text{peso total (mA-año)}}{C.T.D. (mA)} = X \text{ años}$$

PARA OBTENER LA CONSTANTE K SE UTILIZAN; LOS $\frac{\text{AMPERES-HORA}}{\text{LIBRA}}$ TEORICOS QUE- ENTREGA EL MAGNESIO (EN NUESTRO CASO ESTE VALOR ES DE 349.72 AMPERES-HORA/LI BRA), LA EFICIENCIA DEL MAGNESIO PARA ENTREGAR ESTOS AMPERES QUE ES DEL 50% Y LAS CONVERSIONES DE UNIDADES NECESARIAS. ENTONCES PARA OBTENER K TENEMOS:

$$K = 849.72 \frac{\text{(A-HORA)}}{\text{LIBRA}} \times \frac{(1000 \text{ mA})}{(A)} \times \frac{(ARO)}{(8760 \text{ HORAS})} \times 0.5 = 48.5 \frac{\text{(mA-año)}}{\text{(LIBRA)}}$$

SI UTILIZAMOS EL VALOR DE C.T.D. EN mA, EL VALOR DEL T.V.E. SE OBTENDRA EN AÑOS.

CONTINUANDO CON EL EJEMPLO QUE NOS OCUPA OBTENEMOS EL T.V.E. PARA CADA- UNO DE LOS TIPOS DE ANODO:

$$T.V.E. \#9 = 48.5 \times 27 / 139.97 = 9.36 \text{ AÑOS}$$

$$T.V.E. \#17 = 48.5 \times 34 / 138.87 = 11.87 \text{ ''}$$

$$T.V.E. \#32 = 48.5 \times 64 / 147.20 = 21.09 \text{ ''}$$

$$T.V.E. \#48 = 48.5 \times 96 / 151.38 = 30.76 \text{ ''}$$

DE LOS RESULTADOS ANTERIORES, SE ESCOGEN, PARA PROTEGER CATODICAMENTE A LA ESTRUCTURA No. 26, DOS ANODOS DE 32 LIBRAS DE PESO. ESTOS ANODOS NOS - PROPORCIONAN 147.2 AMPERES DURANTE SUS 21 AÑOS DE VIDA UTIL.

IV.3.2.- ANODOS DE ZINC:

L.T. TUXPAN P.V. - TUXPAN IITORRE No. 27

FECHA _____

1.- DATOS DE CAMPO:

RESISTIVIDAD DEL SUELO (Ro) 280 ohm-cm a 3.2 mPOTENCIAL NATURAL (Vn) 0.755 volts

CORRIENTE DE PROTECCION (Cp) 100 mACORRIENTE DE DISEÑO (Cd) = $1.15 \times Cp = 1.15 \times 100 = 115 \text{ mA}$ (*) FACTOR ASOCIADO CON (Y) $Y = 4.4 - (4 V_n)$ EL POTENCIAL NATU--
RAL

$$Y = 4.4 - (4 \times 0.755) = 1.38$$

(**) FACTOR ASOCIADO CON (F)
EL PESO DEL ANODO

ANODO	(F)
321b	1.06
50"	1.09

NOTA:

(*) ESTE FACTOR ES PARA CORREGIR LA ECUACION DE TEFANKJIAN CUANDO EL POTENCIAL NATURAL DE LA ESTRUCTURA ES DIFERENTE DE - 0.85 VOLTS. -- CUANDO SE UTILIZAN ANODOS DE ZINC, ESTE FACTOR SE CALCULA DE ACUERDO A LA EXPRESION DADA.

(**) ESTE FACTOR SE CONSIDERA DEBIDO A QUE LA ECUACION DE TEFANKJIAN SE AFECTA CON LAS DIMENSIONES DE LOS ANODOS (LARGO Y ANCHO). COMO SE PUEDE OBSERVAR, EL FACTOR (F) ES EL MISMO PARA ANODOS DE ZINC Y MAGNESIO, PORQUE ANODOS DEL MISMO PESO TIENEN LAS MISMAS DIMENSIONES.

2.- CORRIENTE DRENADA POR ANODO (C.D.A.):

COMO SE VIO EN EL EJEMPLO ANTERIOR, EL CALCULO DE LA C.D.A. SE REALIZA POR MEDIO DE LA ECUACION DE TEFANKJIAN, EN EL CASO DE UTILIZAR ANODOS DE ZINC, LA C.D.A. QUE ESTOS ENTREGAN ES APROXIMADAMENTE 1/3 DEL VALOR DE LA CORRIENTE ENTREGADA POR LOS ANODOS DE MAGNESIO, POR LO QUE LA ECUACION NOS QUEDA:

$$C.D.A. = \frac{40,000 \times F \times Y}{R_o}$$

$$C.D.A. \#32 = \frac{40,000 (1.06) (1.38)}{280} = 208.97 \text{ mA}$$

$$C.D.A. \#50 = \frac{40,000 (1.09) (1.38)}{280} = 214.986 \text{ mA}$$

3.- NUMERO DE ANODOS (No.):

$$\text{No. \#32} = \frac{115}{208.97} = 2 \text{ ANODOS}$$

$$\text{No. \#50} = \frac{115}{214.886} = 2 \text{ "}$$

EFECTO PANTALLA:

<u>No.</u>	<u>E.P.</u>
2	1.639
3	2.278
4	2.917

4.- CORRIENTE TOTAL DRENADA (C.T.D.):

$$\text{C.T.D. \#32} = 208.97 \times 1.639 = 342.5 \text{ mA}$$

$$\text{C.T.D. \#50} = 214.886 \times 1.639 = 352.2 \text{ mA}$$

5.- TIEMPO DE VIDA ESPERADO (T.V.E.):

EN EL CASO DE UTILIZAR ANODOS DE ZINC, LA CONSTANTE K TIENE UN VALOR DE 32.5- DICHO VALOR SE OBTIENE SIGUIENDO EL MISMO PROCEDIMIENTO QUE SE UTILIZO EN EL EJEMPLO ANTERIOR Y UTILIZANDO UN VALOR DE 316.33 AMPERES-HORA/LIBRA TEORICOS- QUE ENTREGA EL ZINC, ASI COMO LA EFICIENCIA QUE POSEE ESTE MATERIAL Y QUE ES - DE 90%.

$$\text{T.V.E. \#32} = \frac{32.5 (64)}{342.5} = 6.07 \text{ AÑOS}$$

$$\text{T.V.E. \#50} = \frac{32.5 (100)}{352.2} = 9.23 \text{ AÑOS}$$

SE ESCOGEN POR LO TANTO 2 ANODOS DE 50 lb PARA PROTEGER CATODICAMENTE LA ESTRUCTURA. NO SE ALCANZAN LOS 15 AÑOS DE VIDA UTIL MINIMA QUE NOS MARCA -- C.F.E., LA FORMA DE CORREGIR ESTO SE VERA MAS ADELANTE CUANDO SE LLEGUE AL-- AJUSTE DE LA P.C. EN EL CAMPO.

CON LOS DATOS OBTENIDOS HASTA EL PUNTO 5.- SE LLENAN LAS FORMAS ELABORADAS POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA DE LA GERENCIA DE PROYECTOS DE TRANSMISION Y TRANSFORMACION, LAS CUALES TIENEN EL TITULO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA CON ANODOS GALVANICOS.

EN LAS DOS HOJAS SIGUIENTES SE MUESTRAN ESTAS FORMAS CON LOS DATOS PARA EL DISEÑO DE LA P.C. DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V.- TUXPAN II.

IV.4.- DISTRIBUCION E INSTALACION DE LOS ANODOS

EN LO QUE SE REFIERE A LA MANERA DE INSTALAR LOS ANODOS, UNA INSTALACION TI - PICA SE MUESTRA EN LA FIGURA IV.11.

O P T T

DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CÁTODICA CON ANODOS GALVÁNICOS.

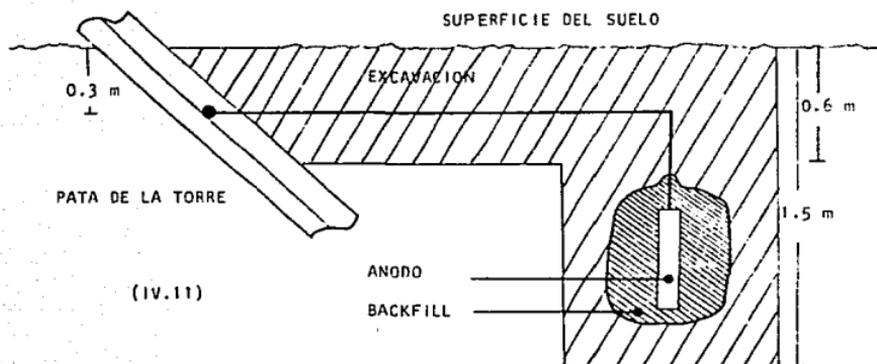
TRABAJO FIN DE INGENIERÍA
ELECTROQUÍMICAC. E. CENTRO
P. T.

L. T. TUXPAN P.V. - TUXPAN II

FECHA

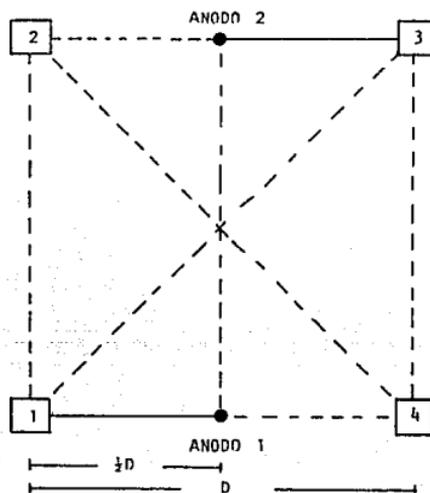
NÚMERO DE ANODO	POTENCIAL DE DISEÑO (V)	POTENCIAL NATURAL (V)	CORRIENTE DE PROTECCIÓN (%)	CORRIENTE DE DISEÑO (mA)	DRENAJE UNIFORME POR ANODO (mA)	CORRIENTE TOTAL DRENAJA (mA)	CANTIDAD DE ANODOS	TIPO DE ANODOS	MATERIAL	TIEMPO DE VIDA (años)
12	550	0.745	92	105.8	112.567	184.497	2	50	Zn	17.6
13	1600	0.791	77	88.5	86.029	159.8	2	32	Mn	19.4
14	800	0.752	88	101.2	185.899	345.029	2	48	Mn	13.5
15	760	0.766	90	103.5	192.314	357.120	2	48	Mn	13.0
16	2200	0.816	71	81.65	57.147	106.056	2	17	Mn	15.5
17	780	0.789	90	103.5	181.946	337.691	2	48	Mn	13.8
18	1400	0.806	81	93.15	96.49	179.095	2	32	Mn	17.3
19	700	0.768	91	104.65	208.346	326.69	2	48	Mn	13.1
20	200	0.759	97	111.55	297.352	427.34	2	50	Zn	6.7
21	1620	0.793	81	93.15	84.784	157.350	2	32	Mn	19.7
22	1400	0.784	87	94.3	99.216	184.145	2	32	Mn	16.9
23	1180	0.797	81	93.15	119.072	220.990	2	48	Mn	21.0
24	2900	0.820	62	71.3	30.202	56.05	2	9	Mn	15.6
25	1800	0.807	79	90.85	74.021	139.053	2	32	Mn	22.3
26	1700	0.807	88	101.2	79.31	147.2	2	32	Mn	21.0
27	280	0.755	100	115	214.886	352.198	2	50	Zn	9.2
28	580	0.775	97	111.55	249.197	462.51	2	48	Mn	10.0
29	1300	0.790	84	96.6	106.065	196.065	2	32	Mn	15.76
30	1360	0.794	84	96.6	95.153	176.604	2	17	Mn	17.3
31	2800	0.830	63	72.45	31.281	82.425	3	9	Mn	15.9
32	3200	0.857	58	66.7	26.364	69.469	3	9	Mn	18.8
33	1800	0.798	77	88.55	75.811	140.705	2	32	Mn	22.0
34	2700	0.837	65	74.75	32.13	84.662	3	9	Mn	15.5

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



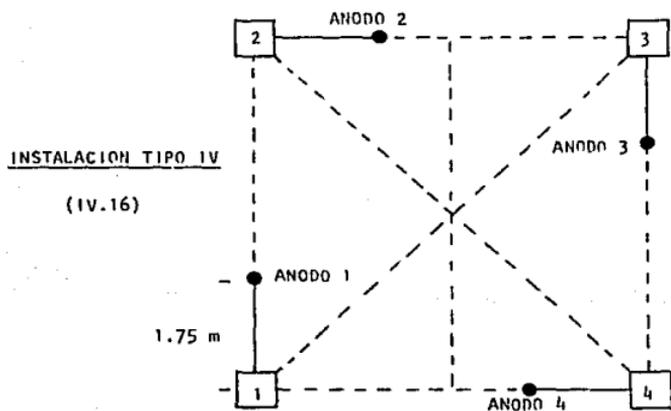
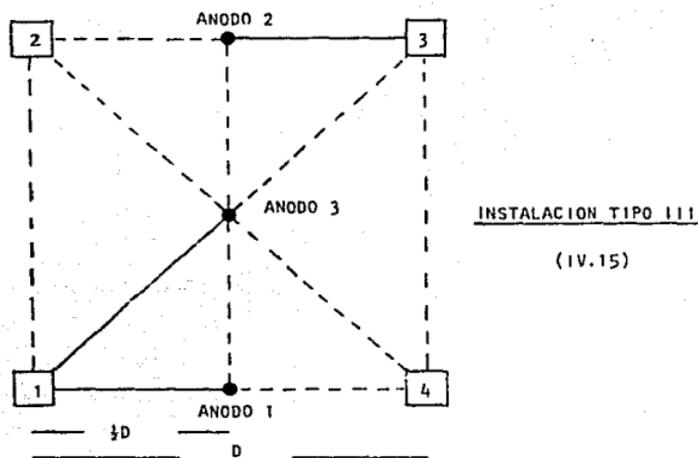
POR LO QUE TOCA A LA DISTRIBUCION DE LOS ANODOS, C.F.E. HA NORMALIZADO LA MISMA PARA INSTALACIONES CON DOS Y HASTA NUEVE ANODOS.

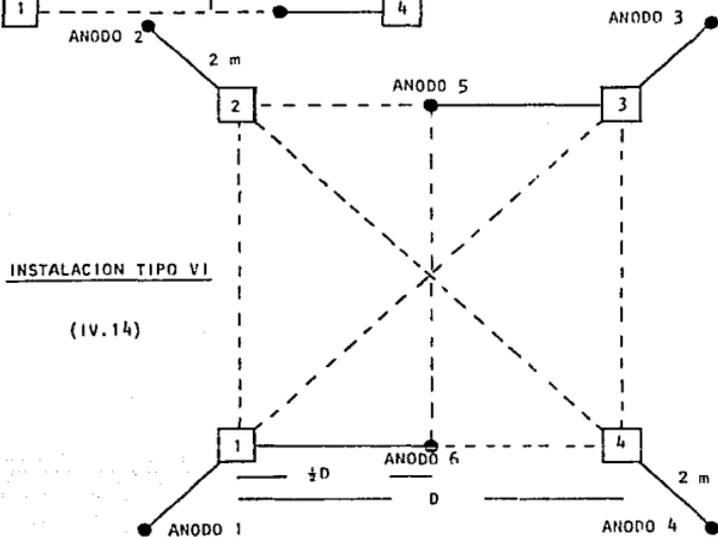
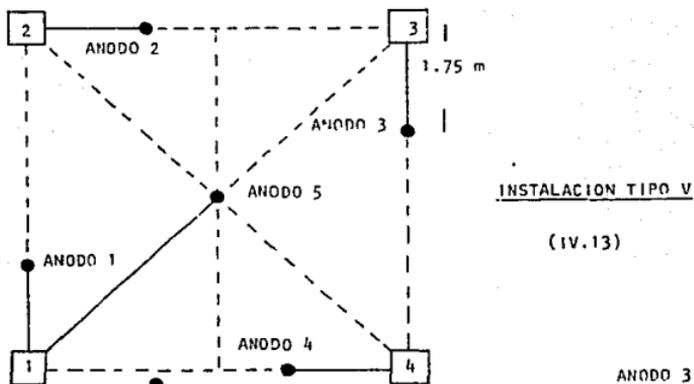
EN LAS SIGUIENTES FIGURAS SE PUEDEN APRECIAR LAS DIFERENTES DISTRIBUCIONES:

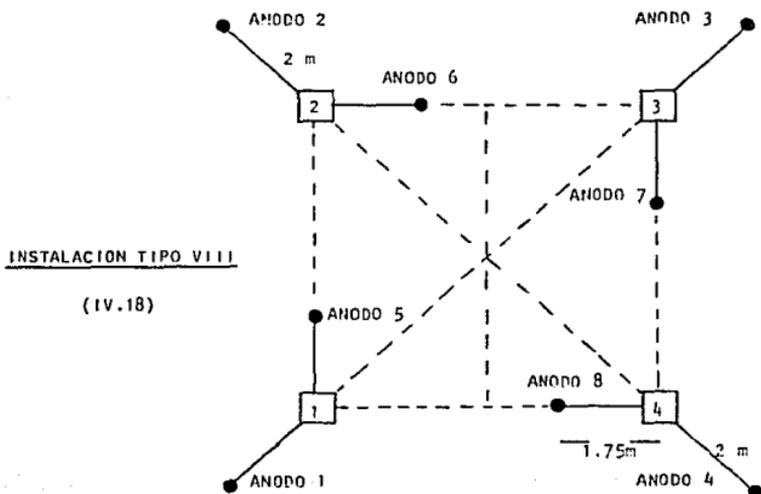
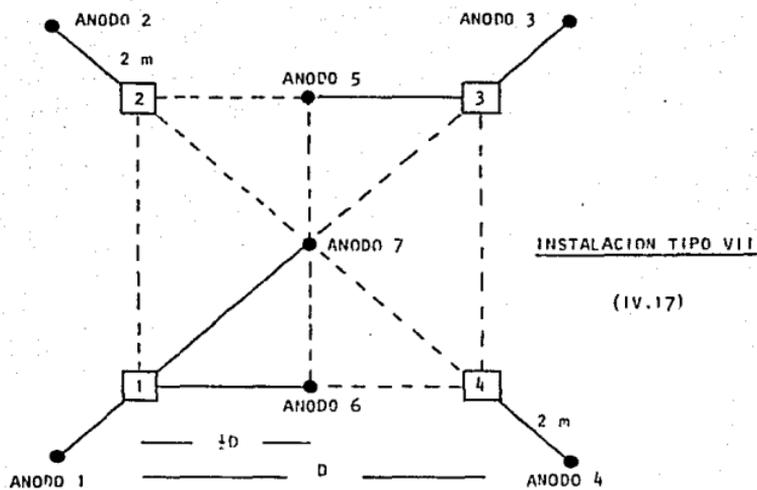


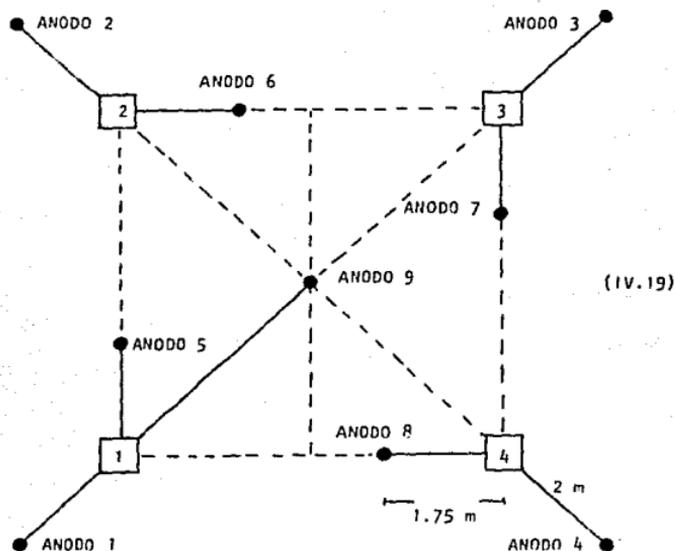
INSTALACION
TIPO LI

(IV.12)









INSTALACION TIPO IX

IV.5.- SUPERVISION DE LA INSTALACION Y AJUSTE DEL SISTEMA DE P.C.

EN ESTA ETAPA SE DEBE DE CUIDAR LA REALIZACION CORRECTA DE TODOS LOS TRABAJOS DE CAMPO QUE SE MENCIONAN A CONTINUACION.

IV.5.1.- EXCAVACION DE CEPAS:

LA PERFORACION DE CEPAS PARA LA COLOCACION DE LOS ANODOS SE REALIZO EN ESTE CASO A MANO EN TODAS LAS TORRES CON EXCEPCION DE LA No. 39 DONDE FUE NECESARIO EL USO DE EXPLOSIVOS. LAS EXCAVACIONES SE HICIERON A UNA PROFUNDIDAD DE 1.5 m Y CON EL ANCHO SUFICIENTE PARA TRABAJAR COMODO EN EXCAVACION PROFUNDA. LA LOCALIZACION DE PUNTOS EN EL CAMPO SE REALIZO DE ACUERDO A LOS DIAGRAMAS DE INSTALACION VISTOS ANTERIORMENTE.

IV.5.2. - RANURACION PARA ALAMBRADO:

LA RANURACION PARA LA INSTALACION SUBTERRANEA DEL ALAMBRE CONDUCTOR SE REALIZO A UNA PROFUNDIDAD DE 0.6 m TANTO EN CAMPO ABIERTO COMO EN ZONA DE CULTIVO (TORRE No. 45).

IV.5.3. - COLOCACION DEL ANODO:

LOS ANODOS TANTO DE MAGNESIO COMO DE ZINC PREVIAMENTE EMPACADOS CON RELLENO DE BAJA RESISTENCIA DE CONTACTO (BACKFILL), SE COLOCARON AL FONDO DE SU CORRESPONDIENTE CEPY Y SE HUMEDECIERON CON APROXIMADAMENTE 20 lts. DE AGUA, - PROCEDIENDOSE INMEDIATAMENTE, AL RELLENO DE LAS CEPAS, PARA DE ESTA MANERA - FAVORECER LA ESTABILIZACION DE CONDICIONES ENTRE EL ANODO Y SU NUEVO MEDIO -- CIRCUNDANTE.

IV.5.4. - CONEXIONES SOLDADAS:

LOS ANODOS SE CONECTARON A LAS ESTRUCTURAS POR MEDIO DE SOLDADURA - - - CADWELD ESPECIAL PARA ESTE TIPO DE SISTEMA (CON LA MISMA SE LOGRA UNA UNION - METALICA).

LAS CONEXIONES SOLDADAS SE REALIZARON SOBRE LAS CARAS INTERNA y/o EXTERNA DEL MONTANTE BASE DEL BOTTOM-PANEL, SEGUN EL TIPO DE DISTRIBUCION ANODICA-A INSTALAR Y LAS FACILIDADES PRESENTADAS EN CAMPO POR CADA CASO PARTICULAR.

LAS CONEXIONES SE SITUARON A 0.30 m POR DEBAJO DEL NIVEL DEL SUELO Y -- FUERON AISLADAS CON DOS CAPAS ENTRECruzADAS DE MASILLA ELECTRICA MOLDEABLE, - CON EL OBJETO DE MITIGAR EL EFECTO DE PAR GALVANICO ENTRE EL COBRE DEL CABLE- Y EL ACERO DE LA ESTRUCTURA EN PRESENCIA DEL MEDIO ELECTROLITICO CIRCUNDANTE.

IV.5.5. - INSTALACION DE RESISTENCIAS:

EN LOS CASOS EN QUE PARA LOGRAR EL AJUSTE DEL TIEMPO DE VIDA UTIL PARA-SISTEMAS INDIVIDUALES SE HIZO NECESARIA LA ADAPTACION DE RESISTENCIAS EN EL - CIRCUITO, ESTAS FUERON PREPARADAS UTILIZANDO ALAMBRE DE CHROMEL EN CALIBRES - 20 Y 23 DE VALOR OHMICO CONOCIDO, CALCULANDO EN CAMPO LA RESISTENCIA A INTER-CALAR ENTRE EL ANODO Y LA ESTRUCTURA AL MOMENTO DE CERRAR EL SISTEMA.

TODAS LAS RESISTENCIAS FUERON PROTEGIDAS CON FIBRA DE VIDRIO ENVUELTA - CON MASILLA ELECTRICA Y CINTA AISLANTE. LAS RESISTENCIAS QUEDARON SITUADAS - EN LA RANURACION PARA EL ALAMBRADO SUBTERRANEO A LA PROFUNDIDAD DE 0.60 m Y A UNA DISTANCIA NO MAYOR DE 1 m DE LA CONEXION SOLDADA.

PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A SER INTERCALADA EN EL SISTEMA QUE ASI LO REQUIERA (COMO FUE EL CASO DE NUESTRO EJEMPLO DE LA TORRE No. 27), SE TIENEN LAS SIGUIENTES FORMULAS:

1.- PARA EL CASO DE UTILIZAR ANODOS DE MAGNESIO SE TIENE:

$$R_1 = \frac{1.7 - V_n}{I_t}$$

$$R_2 = \frac{1.7 - V_n}{I_n}$$

$$R_i = R_2 - R_1$$

DONDE:

V_n = POTENCIAL NATURAL DE LA ESTRUCTURA

I_t = ES LA CORRIENTE TOTAL DRENADA POR EL SISTEMA

I_n = ES LA CORRIENTE QUE DEBE DRENAR EL SISTEMA PARA TENER UNA VI DA UTIL DE CUANDO MENOS 15 AÑOS

R_i = ES LA RESISTENCIA TOTAL A SER INSTALADA, LA QUE SE PUEDE REPARTIR EN DOS O MAS ANODOS SEGUN EL CASO.

2.- PARA EL CASO DE UTILIZAR ANODOS DE ZINC TENEMOS:

$$R_1 = \frac{1.1 - V_n}{I_t}$$

$$R_2 = \frac{1.1 - V_n}{I_n}$$

$$R_i = R_2 - R_1$$

DONDE 1.7 Y 1.1 SON VALORES DEL POTENCIAL DEL Mg Y DEL Zn RESPECTIVAMENTE, OBTENIDOS DE MANERA EXPERIMENTAL, CON RESPECTO A LA MISMA SEMICELDA DE COBRE-SULFATO DE COBRE CON LA QUE SE OBTIENE V_n DE LA ESTRUCTURA.

IV.6.- TIPOS DE SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA:

1.- SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA A DRENAJE MAXIMO (D.M):

LOS SISTEMAS DE P.C. A DRENAJE MAXIMO SON AQUELLOS EN LOS QUE AL MOMENTO DE CERRAR EL CIRCUITO Y DESPUES DE HABER PERMITIDO LA ESTABILIZACION DEL ANODO CON EL MEDIO CIRCUNDANTE (LO QUE SE LOGRA EN 10 & 15 DIAS DESPUES DE LA INSTALACION), EL VALOR DE CORRIENTE TOTAL MEDIDA EN CAMPO NO ES SUFICIENTE PARA CUBRIR EL VALOR DE CORRIENTE DE DISEÑO.

2.- SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA A DRENAJE ABIERTO (D.A.):

ESTOS SISTEMAS SE CIERRAN CON UN VALOR DE CORRIENTE TOTAL SUPERIOR A LA CORRIENTE MINIMA DE DISEÑO E INFERIOR A LA CORRIENTE CRITICA DE VIDA. SE CARACTERIZAN POR AJUSTARSE CON FIDELIDAD A UN TIEMPO DE VIDA UTIL DE 15 AÑOS O MAS.

3.- SISTEMAS DE PROTECCION CATODICA A DRENAJE LIMITADO (D.L.):

SE CLASIFICAN AQUI LOS SISTEMAS EN LOS QUE EL VALOR DE CORRIENTE TOTAL ES NO SOLAMENTE SUPERIOR AL VALOR DE CORRIENTE DE DISEÑO, SINO QUE SUPERA TAMBIEN EL VALOR DE CORRIENTE CRITICA DE VIDA.

SE CARACTERIZAN POR EL HECHO DE QUE SI SE LES PERMITE OPEAR A DRENAJE LIBRE, SU TIEMPO DE VIDA UTIL SE REDUCE SENSIBLEMENTE RESPECTO A LA LINEA DE TIEMPO DE VIDA DE DISEÑO. ESTA CARACTERISTICA EXIGE QUE AL MOMENTO DE CERRAR EL SISTEMA SE INTERCALEN RESISTENCIAS DE VALOR CONOCIDO, COMPORTANDOSE ENTONCES COMO UN SISTEMA DE VIDA UTIL DE 15 O MAS AÑOS.

EN EL MOMENTO DE LA INSTALACION SE TOMAN LAS LECTURAS DE LOS DRENAJES UNITARIOS DE CADA ANODO, PARA EN CASO DE SER NECESARIO INTERCALAR RESISTENCIAS Y OBTENER LA CORRIENTE DE TRABAJO DE CADA UNO DE LOS SISTEMAS INSTALADOS.

CON EL ANTERIOR VALOR DE CORRIENTE SE PUEDE ENTONCES CALCULAR EL TIEMPO DE VIDA UTIL Y CLASIFICAR AL SISTEMA COMO DE (D.M), (D.A), O (D.L).

UNA VEZ QUE SE HA PERMITIDO LA ESTABILIZACION DEL ANODO CON EL MEDIO -- QUE LO CIRCUNDA, SE PROCEDE A TOMAR LA LECTURA DEL POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA EN CADA UNA DE SUS PATAS, CON ESTA LECTURA SE OBTIENE EL INCREMENTO DEL POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA LOGRADO A TRAVES DE LA P.C. SI TOMAMOS COMO REFERENCIA LA LECTURA DE UNA DE LAS PATAS (EN NUESTRO CASO LA PATA DE REFERENCIA ES LA NUMERO 4).

EN LAS DOS HOJAS SIGUIENTES SE MUESTRAN LOS FORMATOS DONDE SE INCLUYEN TODAS ESTAS LECTURAS Y QUE LLEVAN POR TITULO AJUSTE DEL SISTEMA DE P.C. INSTALADO.

C
F
E

SUBDIRECCION
DE CONSTRUCCION
G.P.T.T.

AJUSTE DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA INSTALADO

DEPARTAMENTO
DE INGENIERIA
ELECTROMECANICA

C.E. _____
R.T. _____

LT _____

FECHA _____
HOJA _____ DE _____

NUMERO ESTRUC- TURA	SISTEMA INSTALADO	TIPO DE INSTA- LACION	DRENAJES UNITARIOS DE CORRIENTE (L/M ²)									REQUERIMI- ENTO TOTAL (L/M ²)	RESIS- TENCIA TOTAL	COEFICIENTE DE TRABAJO DEL PUNTO	TIPO DE SISTEMA	POTENCIALES FINALES A SISTEMA CERRADO (VOLTS)				TIEMPO DE VIDA (% ANOS)	AV. (mV)	FECHA DE INSTALACION
			1	2	3	4	5	6	7	8	9					P ₁	P ₂	P ₃	P ₄			
12	2-50	II	76	94							190	3/2	190	D.A.	1.12	1.10	1.12	1.12	17.1	375	5-05-88	
13	2-32	II	79	83							162	3.47	100	D.L.	1.01	1.01	1.03	1.01	31.04	219	5-05-88	
14	2-48	II	176	173							319	1.93	124	D.L.	0.98	0.98	0.98	1.0	37.5	248	5-05-88	
15	2-46	II	170	166							338	1.48	129	D.L.	1.05	1.03	1.03	1.04	36.0	272	5-05-88	
16	2-17	II	53	51							104	3/2	104	D.A.	1.07	1.06	1.07	1.07	15.8	254	7-05-88	
17	2-48	II	173	171							344	1.36	130	D.L.	1.09	1.07	1.06	1.09	35.8	300	7-05-88	
18	2-32	II	66	71							137	3/2	137	D.A.	1.16	1.12	1.14	1.16	22.7	354	7-05-88	
19	2-48	II	149	150							299	1.16	128	D.L.	1.03	1.05	1.05	1.05	36.4	280	9-05-88	
20	2-50	II	218	212							430	1.94	132	D.L.	1.11	1.12	1.12	1.12	24.6	360	9-05-88	
21	2-32	II	63	62							125	3/2	125	D.A.	1.05	1.05	1.05	1.06	24.8	267	9-05-88	
22	2-32	II	76	79							155	3/2	155	D.A.	1.16	1.17	1.17	1.17	20.0	385	9-05-88	
23	2-48	II	82	80							162	3/2	162	D.A.	1.18	1.18	1.17	1.19	28.7	393	10-05-88	
24	2-9	II	33	36							69	3/2	69	D.M.	0.98	0.96	0.98	0.98	12.6	150	10-05-88	
25	2-32	II	65	62							127	3/2	127	D.A.	1.14	1.15	1.15	1.16	24.4	353	10-05-88	
26	2-32	II	77	79							156	3/2	156	D.A.	1.19	1.17	1.16	1.18	19.9	370	10-05-88	
27	2-50	II	148	156							304	1.05	132	D.L.	1.09	1.11	1.09	1.10	24.6	345	10-05-88	
28	2-48	II	175	172							347	3.99	139	D.L.	1.14	1.14	1.12	1.14	33.5	370	11-05-88	
29	2-32	II	68	72							140	3/2	140	D.A.	1.07	1.06	1.08	1.07	22.1	280	11-05-88	
30	2-17	II	70	69							139	2.54	100	D.L.	1.0	0.98	1.01	1.01	16.49	220	11-05-88	
31	3-9	III	26	32	22						80	3/2	80	D.A.	1.05	1.03	1.01	1.04	16.36	210	11-05-88	
32	3-9	III	29	22	31						82	3/2	82	D.A.	1.09	1.11	1.11	1.10	15.9	243	12-05-88	
33	2-32	II	48	51							99	3/2	99	D.A.	1.12	1.09	1.12	1.11	15.7	312	12-05-88	
34	3-9	III	27	31	29						87	3/2	87	D.A.	1.07	1.06	1.09	1.09	15.0	253	12-05-88	

C
F
ESUBDIRECCION
DE CONSTRUCCION
G. P. T. T.

AJUSTE DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA INSTALADO

DEPARTAMENTO
DE INGENIERIA
ELECTROMECANICAC.E. _____
R.T. _____

LT. _____

FECHA _____
HOJA _____ DE _____

UNIDAD INSTALADA	SISTEMA INSTALADO	TIPO DE INSTALACION	DRENAJES UNITARIOS DE CORRIENTE (LPM)									MANTENI- MIENTO TOTAL (LPM)	NECESI- TADIA TOTAL	TIPO DE SISTEMA DE PROTECCION	POTENCIALES FINALES A SISTEMA CERRADO (VOLTS)				TIEMPO DE VIDA (HRS)	AV (M)	FECHA DE INSTALACION		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9				P ₁	P ₂	P ₃	P ₄					
35	2-48	11	105	108								213	4.01	110	D.L.	1.05	1.05	1.07	1.06	42.3	273	12-05-88	
36	3-9	111	20	21	23							64	s/r	64	D.A.	0.98	1.02	0.97	1.01	20.5	145	13-05-88	
37	2-48	11	173	175								348	2.47	180	D.L.	1.07	1.07	1.08	1.10	25.8	300	13-05-88	
38	2-32	11	74	77								151	s/r	151	D.A.	1.07	1.06	1.06	1.06	24.0	240	13-05-88	
39	3-9	111	20	18	19							57	s/r	57	D.A.	1.11	1.12	1.11	1.13	22.9	253	14-05-88	
40	2-32	11	63	59								122	s/r	122	D.A.	1.06	1.08	1.08	1.06	25.4	230	14-05-88	
41	2-32	11	64	61								125	s/r	125	D.A.	1.09	1.07	1.08	1.07	24.8	254	16-05-88	
42			NO REQUIERE																				
43	3-9	111	20	27	22							69	s/r	69	D.A.	1.11	1.10	1.12	1.11	18.9	248	16-05-88	
44	2-48	11	165	171								336	4.67	120	D.L.	0.98	1.0	0.99	0.99	38.8	161	16-05-88	
45	2-48	11	176	182								358	4.8	120	D.L.	1.02	1.01	1.01	1.0	38.3	167	17-05-88	
46	2-32	11	61	57								118	s/r	118	D.A.	1.10	1.09	1.10	1.11	26.3	270	17-05-88	
47	2-17	11	46	49								95	s/r	95	D.A.	1.08	1.08	1.10	1.08	17.3	268	17-05-88	
48	3-9	111	21	19	22							62	s/r	62	D.A.	1.07	1.09	1.08	1.09	21.1	220	17-05-88	
49	3-9	111	22	29	24							75	s/r	75	D.A.	1.06	1.05	1.05	1.06	17.4	228	18-05-88	
50	4-9	1V	21	16	12	19						68	s/r	68	D.A.	1.11	1.12	1.11	1.10	25.6	240	18-05-88	
51	2-32	11	71	68								139	s/r	139	D.A.	1.06	1.08	1.06	1.07	22.3	266	18-05-88	

IV. 7.- MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA

LOS TIPOS DE SISTEMAS DE P.C. ESTAN DOMINADOS POR LA RESISTIVIDAD DEL ELECTROLITO (EL SUELO) Y ESTA A SU VEZ, INTERRELACIONADA CON LA HUMEDAD DEL MISMO. LAS VARIACIONES DE ESTE PARAMETRO AFECTAN SENSIBLEMENTE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INSTALADO DE P.C.

CUANDO UN PROCESO CORROSIVO SE ENCUENTRA INHIBIDO POR LA AUSENCIA DE AGENTES CONDUCTORES EN EL MEDIO ELECTROLITICO (AUSENCIA DE HUMEDAD), EL SISTEMA DE P.C. SE ENCUENTRA DE LA MISMA MANERA INHIBIDO Y VICEVERSA.

CONSIDERANDO LO ANTERIOR, UN PROGRAMA BASICO DE MANTENIMIENTO DEBE DE INCLUIR LO SIGUIENTE:

- 1.- LEVANTAMIENTO DE UN PERFIL ANUAL DE POTENCIALES ESTRUCTURA SUELO; ESTO CON EL OBJETO DE OBSERVAR EL ESTADO DE LA ESTRUCTURA DE ACUERDO A LA TABLA ELABORADA POR LA SUBGERENCIA DE C.F.E., - QUE SE MOSTRO CUANDO TRATAMOS LAS MEDICIONES DE POTENCIAL ESTRUCTURA SUELO, (TABLA IV.10.b)
- 1.1-SE DEBE DE REALIZAR EL LEVANTAMIENTO DEL PERFIL, DE PREFERENCIA EN EL TRIMESTRE EN EL QUE QUEDARON CERRADOS LOS CIRCUITOS DE SISTEMAS INDIVIDUALES.
- 1.2-SE DEBEN DE UTILIZAR INSTRUMENTOS DE PRECISION CONFIABLES, PREFERENTEMENTE EL MULTIMEDIDOR Mc. MILLER, QUE INCLUYA EL CIRCUITO CORRESPONDIENTE AL GALVANOMETRO. ESTE CIRCUITO DISMINUYE LOS ERRORES EN LAS MEDICIONES PROVOCADOS POR LA ALTA RESISTENCIA DE CONTACTO, ENTRE LA CELDA DE REFERENCIA $Cu-CuSO_4$ Y EL SUELO, ARROJANDO LECTURAS DE POTENCIAL PRECISAS.
- 1.3-SE DEBE DE PREPARAR ADECUADAMENTE LA SOLUCION SOBRESATURADA DE $CuSO_4$ A UTILIZAR EN LA CELDA DE REFERENCIA.
- 1.4-SE DEBE DE COMPARAR EL PERFIL DE POTENCIAL LEVANTADO, CON EL PERFIL DE CAMBIO DE POTENCIAL OBTENIDO AL CERRAR EL SISTEMA. PARA DE ESTA MANERA LLEVAR UN CONTROL E INDICAR LAS MEDIDAS CORRECTIVAS EN CASO DE SER NECESARIO.

EN LAS SIGUIENTES DOS HOJAS SE MUESTRAN LAS CURVAS DE POTENCIAL NATURAL DE LAS ESTRUCTURAS ANTES DE APLICADA LA P.C. Y LAS CURVAS DE POTENCIAL UNA --

VEZ CERRADOS LOS CIRCUITOS DE LOS SISTEMAS INDIVIDUALES. LO ANTERIOR PARA EL CASO DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II, GRAFICA IV.20 Y IV.21

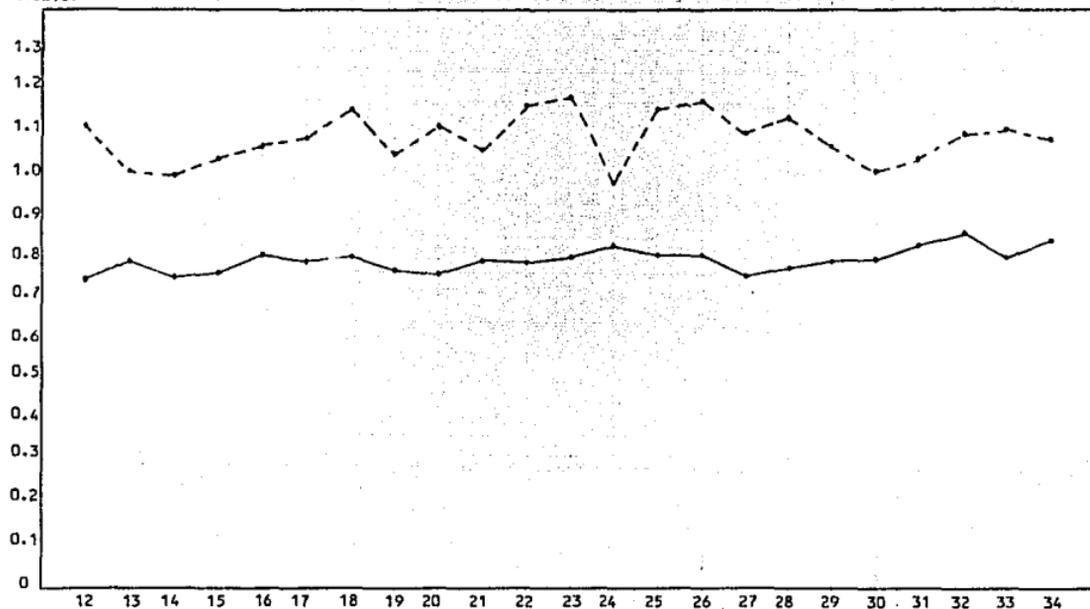
SE MUESTRA EN LINEAS PUNTEADAS LA CURVA DE LOS POTENCIALES ALCANZADOS - CON LA P.C.

1.5 INSPECCION VISUAL: DURANTE EL RECORRIDO DE LEVANTAMIENTO DEL -- PERFIL DE POTENCIALES, ES CONVENIENTE DESCUBRIR CADA DOS AROS- LOS MONTANTES DE LAS TORRES (O DE UNA MUESTRA DE LAS MISMAS) - HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 0.5m Y OBSERVAR EL ESTADO DEL GALVANI ZADO, ASI COMO DE LAS CONEXIONES SOLDADAS. CUANDO TENEMOS -- SISTEMAS A DRENAJE LIMITADO (D.L.), ES NECESARIO LOCALIZAR LA RESISTENCIA INTERCALADA, OBSERVANDO LOS EMPALMES ENTRE CONDUCTOR-ELEMENTO RESISTIVO-CONDUCTOR.

1.6 MEDICION DE CORRIENTE DE TRABAJO: CON EL OBJETO DE CAPTAR UNA- IDEA RESPECTO AL TIEMPO DE VIDA UTIL, COMPLEMENTARIA, ES POSI- BLE EN CUALQUIER MOMENTO REALIZAR UNA EVALUACION DE CORRIENTE- DE TRABAJO, INTERCALANDO UN AMPERIMETRO CONVENCIONAL EN EL CIR- CUITO ABIERTO DE UN SISTEMA PARA MUESTREO DE CADA UNA DE LAS - DISTRIBUCIONES ANODICAS INSTALADAS.

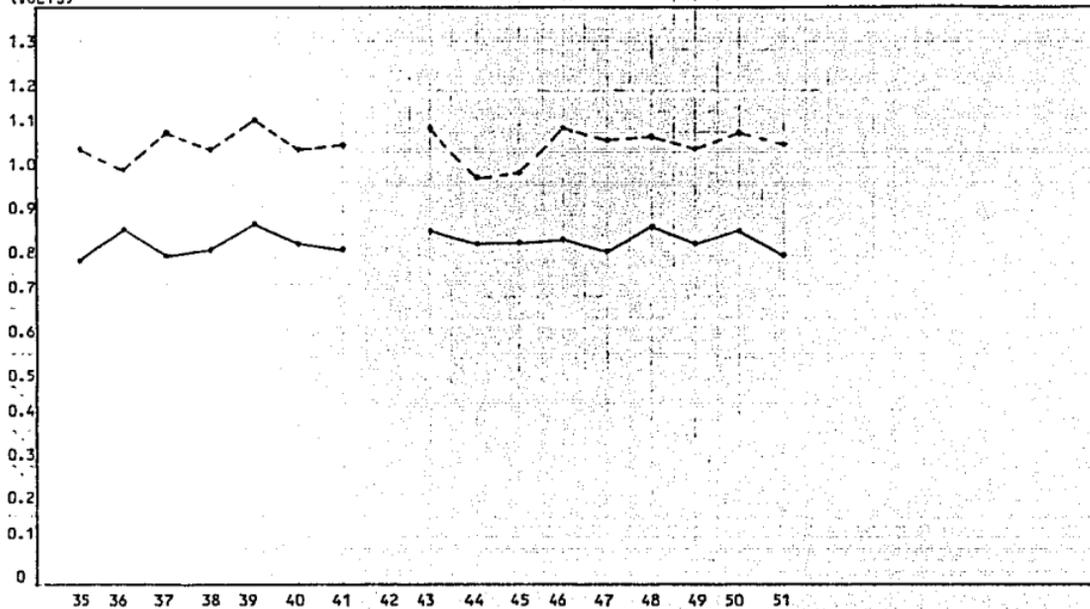
UNA VEZ EFECTUADA LA MEDICION DE CORRIENTE TOTAL, ES NECESARIO RECONECTAR EL SISTEMA. Y EN CASO DE NECESITARSE ALGUNA MODIFI CACION ESTA SE HARA TENIENDO EN CUENTA TANTO LA CORRIENTE DE - DISEÑO, COMO LA VIDA UTIL.

(VOLTS)



No. DE TORRE
(GRAFICA IV.20)

(VOLTS)



No. DE TORRE
(GRAFICA IV.21)

CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA INSTALADO

EN RELACION AL RENGLON ECONOMICO SE ANALIZA Y DETERMINA EL COSTO DE LA PROTECCION CATODICA DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. -- TUXPAN II.

LAS ETAPAS Y LOS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA INTEGRACION DEL COSTO DE PROTECCION CATODICA DE LA LINEA QUE EJEMPLIFICA EL PRESENTE-TRABAJO, SE DETERMINAN DE LA SIGUIENTE MANERA:

V.1.- COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA

<u>COSTO DEL ESTUDIO DE P.C. A PIE DE TORRE Y DISEÑO.....</u>	453,186.00
<u>COSTO DE EXCAVACION.....</u>	2'074,641.00
<u>COSTO DE SOLDADURA Y CONEXION DE ANODOS.....</u>	790,182.00
<u>COSTO DEL RELLENO DE CEPAS.....</u>	1'297,964.00
<u>COSTO DEL AJUSTE DEL SISTEMA EN CAMPO.....</u>	623,246.00
 S U B T O T A L :.....	 5'239,219.00
 <u>+ 30% POR ADMINISTRACION E INDIRECTOS.....</u>	 1'571,766.00
 <u>+ COSTO DE MATERIALES.....</u>	 27'703,712.00
 T O T A L :.....	 <u>\$34'514,697.00</u>

V.1.1.- COSTO DEL ESTUDIO DE PROTECCION CATODICA A PIE DE TORRE Y DISEÑO.

MANO DE OBRA

PERSONAL	SALARIO	POR 4 DIAS TRABAJADOS
1/3 ELECTRICISTA	11,572/3 = 3,857.33	15,429.33
1/3 AYUDANTE GRAL. "C"	8,647/3 = 2,882.33	11,529.33
1/3 PEON	7,588/3 = 2,529.33	10,117.33
1/5 CHOFER "C"	10,855/5 = 2,171.00	8,684.00
		<u>TOTAL MANO DE OBRA \$ 45,760.00</u>

COSTO DE INGENIERIA, 21 DIAS EN TOTAL/5 CONCEPTOS.

SALARIO NOMINAL MENSUAL	FACTOR DE SALARIO REAL	SALARIO REAL	SALARIO DE 21 DIAS	VIATICOS	TIEMPO EXTRA	T O T A L
947,823.34	1.65	1'563,908.50	1'094,736.00	600,000.00	85,304.10	1'780,040.00

COSTO PRORRATEADO DE INGENIERIA: 1'780,040.00/5 CONCEPTOS = \$ 356,008.00

EQUIPO

1/5 CAMIONETA PICK-UP

COSTO HORARIO 8,034.00 x 8 HORAS = 64,272.00/DIA x 4 DIAS = 257,088.00 / 5 = \$51,417.60

TOTAL EQUIPO \$51,417.60

INTEGRACION DEL COSTO

<u>COSTO DE MANO DE OBRA</u>	\$ 45,760.00
<u>COSTO DE INGENIERIA</u>	\$ 356,008.00
<u>COSTO DEL EQUIPO</u>	<u>\$ 51,418.00</u>
<u>COSTO TOTAL DEL CONCEPTO</u>	<u>\$ 453,186.00</u>

V.1.2.- COSTO DE EXCAVACION

MANO DE OBRA

PERSONAL	SALARIO	POR 11 DIAS TRABAJADOS
2/3 SOBRESTANTE "C"	$18,747 \times 2/3 = 12,498.00$	137,478.00
(2/3)(9) AYDTES. "C"	$9 \times 8,647 \times 2/3 = 51,892.00$	570,702.00
(2/3)(3) PEONES	$3 \times 7,598 \times 2/3 = 15,176.00$	166,936.00
2/3 CHOFER "C"	$10,855 \times 2/3 = 7,236.67$	79,603.37
		<u>TOTAL MANO DE OBRA \$ 954,719.00</u>

EQUIPO

(2/3) CAMIONETA DE 3 TONELADAS

COSTO HORARIO $10,204.00 \times (2/3) = 6,802.67 \times 8 \text{ HORAS} = 54,421.33/\text{DIA} \times 11 \text{ DIAS} = 598,635.00$

TOTAL EQUIPO \$ 598,635.00

SUPERVISION

PERSONAL	SALARIO	POR 11 DIAS TRABAJADOS
1/5 CHOFER "C"	$10,855/5 = 2,171$	23,881.00
1/5 INGENIERO	COSTO DE CALCULO PRORRATEADO	356,008.00
		<u>TOTAL SUPERVISION \$ 379,889.00</u>

EQUIPO DE SUPERVISION

1/5 CAMIONETA PICK-UP

COSTO HORARIO 8,034.00 x 8 HORAS = 64,272.00/DIA x 11 DIAS = 706,992.00/5 = \$141,398.40

TOTAL EQUIPO DE SUPERVISION \$141,398.00

INTEGRACION DEL COSTO

<u>COSTO DE MANO DE OBRA</u>	\$ 954,719.00
<u>COSTO DEL EQUIPO</u>	\$ 598,635.00
<u>COSTO DE SUPERVISION</u>	\$ 379,889.00
<u>COSTO DEL EQUIPO DE SUPERVISION</u>	<u>\$ 141,398.00</u>
<u>COSTO TOTAL DEL CONCEPTO</u>	<u>\$2'074,641.00</u>

V. 1.3. -COSTO DE SOLDADURA Y CONEXION DE ANODOS-

MANO DE OBRA

PERSONAL	SALARIO	POR 11 DIAS TRABAJADOS
1 SOLDADOR "B"	15,176.00	166,936.00
1/3 ELECTRICISTA	11,572/3 = 3,857.33	42,430.63
1/3 AYUDANTE GRAL. "C"	8,647/3 = 2,882.33	31,705.63
1/3 PEON	7,588/3 = 2,529.33	27,822.67
1/5 CHOFER "C"	10,855/5 = 2,171.00	23,881.00
		<u>TOTAL MANO DE OBRA \$ 292,776.00</u>

EQUIPO

1/5 CAMIONETA PICK-UP:

COSTO HORARIO 8,034.00 x 8 HORAS = 64,272.00/DIA x 11 DIAS = 706,992.00/5 = 141,398.40

TOTAL EQUIPO \$ 141,398.00

SUPERVISION

1/5 INGENIERO

COSTO DE CALCULO PRORRATEADO

\$ 356,008.00

TOTAL SUPERVISION \$ 356,008.00

INTEGRACION DEL COSTO

COSTO DE MANO DE OBRA

\$ 292,776.00

COSTO DEL EQUIPO

\$ 141,398.00

COSTO DE SUPERVISION

\$ 356,008.00

COSTO TOTAL DEL CONCEPTO

\$ 790,182.00

V.1.4.- COSTO DEL RELLENO DE CEPAS

MANO DE OBRA

PERSONAL	SALARIO	POR 11 DIAS TRABAJADOS
1/3 SOBRESTANTE "C"	$18,747 \times 1/3 = 6,249.00$	68,739.00
(1/3) 9 AYDNES."C"	$9 \times 8,647 \times 1/3 = 25,941.00$	285,351.00
(1/3) 3 PEONES	$3 \times 7,588 \times 1/3 = 7,588.00$	83,468.00
1/3 CHOFER "C"	$10,855 \times 1/3 = 3,618.33$	39,801.67

TOTAL MANO DE OBRA \$ 477,360.00

EQUIPO

(1/3) 1 CAMIONETA DE 3 TONELADAS

COSTO HORARIO $10,204.00 \times 1/3 = 3,401.33 \times 8 \text{ HORAS} = 27,210.67/\text{DIA} \times 11 \text{ DIAS} = 299,317.33$

TOTAL EQUIPO \$ 299,317.00

SUPERVISION

PERSONAL	SALARIO	POR 11 DIAS TRABAJADOS
1/5 CHOFER "C"	$10,855/5 = 2,171$	23,881.00
1/5 INGENIERO	COSTO DE CALCULO PRORRATEADO	356,008.00

TOTAL SUPERVISION \$ 379,889.00

EQUIPO DE SUPERVISION

1/5 CAMIONETA PICK-UP

COSTO HORARIO 8,034.00 x 8 HORAS = 64,272.00/dia x 11 DIAS = 706,992.00/5 = \$ 141,398.40

TOTAL EQUIPO SUPERVISION = \$ 141,398.00

INTEGRACION DEL COSTO

COSTO DE MANO DE OBRA

\$ 477,360.00

COSTO DEL EQUIPO

\$ 299,317.00

COSTO DE SUPERVISION

\$ 379,889.00

COSTO DEL EQUIPO DE SUPERVISION

\$ 141,398.00

COSTO TOTAL DEL CONCEPTO

\$ 1,297,964.00

V.1.5.-COSTO DEL AJUSTE DEL SISTEMA EN CAMPO
 =====

MANO DE OBRA

PERSONAL	SALARIO	POR 11 DIAS TRABAJADOS
1/3 ELECTRICISTA	11,572/3 = 3,857.33	42,430.63
1/3 AYUDANTE GRAL. "C"	8,647/3 = 2,882.33	31,705.63
1/3 PEON	7,588/3 = 2,529.33	27,822.67
1/5 CHOFER "C"	10,855/5 = 2,171.00	23,881.00
		<u>TOTAL MANO DE OBRA \$125,840.00</u>

EQUIPO

1/5 CAMIONETA PICK-UP;

COSTO HORARIO 8,034.00 x 8 HORAS = 64,272.00/DIA x 11 DIAS = 706,992.00/5= 141,398.40

TOTAL EQUIPO \$ 141,398.00

INGENIERIA

1/5 INGENIERO

COSTO DE CALCULO PRORRATEADO

\$ 356,008.00

TOTAL INGENIERIA \$ 356,008.00

INTEGRACION DEL COSTO

COSTO DE MANO DE OBRA

\$ 125,840.00

COSTO DEL EQUIPO

\$ 141,398.00

COSTO DE INGENIERIA

\$ 356,008.00

COSTO TOTAL DEL CONCEPTO

\$ 623,246.00

V.1.6.- COSTO DE MATERIALES

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
20	PZA.	ANODO DE MAGNESIO TIPO "GALVOMAG",PREVIAMENTE EMPACADO,DE 48 lb. DE PESO -- CON 3 m DE ALAMBRE TW 12 AWG.	550,334.00	11'006,680.00
26	PZA.	ANODO DE MAGNESIO TIPO "GALVOMAG",PREVIAMENTE EMPACADO,DE 32 lb. DE PESO -- CON 3 m DE ALAMBRE TW 12 AWG.	376,998.00	9'801,948.00
6	PZA.	ANODO DE MAGNESIO TIPO "GALVOMAG",PREVIAMENTE EMPACADO,DE 17 lb. DE PESO -- CON 3 m DE ALAMBRE TW 12 AWG.	204,189.00	1'225,134.00
30	PZA.	ANODO DE MAGNESIO TIPO "GALVOMAG",PREVIAMENTE EMPACADO,DE 9 lb. DE PESO --- CON 3 m DE ALAMBRE TW 12 AWG.	115,093.00	3'452,790.00
6	PZA.	ANODO DE ZINC,PREVIAMENTE EMPACADO,DE-50 lb. DE PESO CON 3 m DE ALAMBRE TW -12 AWG.	235,750.00	1'414,500.00
250	m	ALAMBRE TW CALIBRE 12 AWG.	480.00	120,000.00
120	PZA.	CONECTOR DE PRESION TIPO AMP CALIBRE -12 AWG,DE COBRE ESTAÑADO Y FORRO PROTECTOR DE POLIETILENO.	475.00	9,500.00
100	PZA.	CARTUCHO DE SOLDADURA DE ALUMINOTERMIA-CADWELD,CATALOGO CA-15,PARA CONEXIONES-DE CAMPO.	2,458.00	245,800.00

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
100	PZA.	CASQUILLO PARA SOLDADURA DE ALUMINOTER MIA DE CAPACIDAD 133-IH.	732.00	73,200.00
2	PZA.	MOLDE DE GRAFITO PARA CONEXION VERTICAL ENTRE CABLE CALIBRE 12 AWG Y PLACA DE - ACERO.	58,237.00	116,474.00
1	PZA.	PINZAS DE SUJECION PARA MOLDE DE GRAFI TO.	51,974.00	51,974.00
12	ROLLO	ROLLO DE CINTA AISLANTE DE VINILO ----- "SCOTCHFILL".	8,000.00	96,000.00
40	m	ESPAQUETTI PROTECTOR DE FIBRA DE VIDRIO CON DIAMETRO DE 2 mm.	640.00	25,600.00
0.2	kg	ALAMBRE PARA RESISTENCIA NICHROMEL,CALI BRE 20 AWG.	163,630.00	32,726.00
0.2	kg	ALAMBRE PARA RESISTENCIA NICHROMEL,CALI BRE 23 AWG.	156,930.00	31,386.00

COSTO TOTAL DE MATERIALES: \$ 271,703,712.00

**NOTA: TODOS LOS PRECIOS UNITARIOS INCLUYEN EL IMPUESTO AL VALOR AGREGADO

V.2. - COSTOS DIFERIDOS

		<u>RELATIVO</u>
COSTO DE MANO DE OBRA	1'896,455.00	36.20
COSTO DE INGENIERIA	712,016.00	13.59
COSTO DE SUPERVISION	1'115,786.00	21.30
COSTO DE EQUIPO DE INSTALACION	1'232,166.00	23.51
COSTO DE EQUIPO DE SUPERVISION	<u>282,796.00</u>	<u>5.40</u>
	5'239,219.00	100.00

V.3. - RELACION PORCENTUAL DE EROGACIONES RESPECTO A LA INVERSION TOTAL

MATERIALES	27'703,712.00	80.27
INGENIERIA	712,016.00	2.06
MANO DE OBRA	1'896,455.00	5.49
SUPERVISION	1'398,582.00	4.06
ADMINISTRACION	1'571,766.00	4.55
EQUIPO	<u>1'232,166.00</u>	<u>3.57</u>
T O T A L :	\$34'514,697.00	100.00%

V.4. - COSTOS UNITARIOSV.4.1. - COSTO POR ANODO INSTALADO

COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE P.C.	<u>34'514,697.00</u>	= \$ <u>392,212.00</u>
	88	<u>ANODO</u>
TOTAL DE ANODOS INSTALADOS		

V.4.2. - COSTO POR ESTRUCTURA PROTEGIDA

COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE P.C.	<u>34'514,697.00</u>	= \$ <u>884,992.00</u>
39 ESTRUCTURAS PROTEGIDAS	39	<u>TORRE</u>

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

DE LOS TRES TIPOS MAS IMPORTANTES DE DESTRUCCION DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS, LA CORROSION ELECTROQUIMICA ES LA QUE SE RELACIONA CON LA PERDIDA - IRRECUPERABLE DE LOS SOPORTES O PATAS DE LAS TORRES DE LAS LINEAS DE TRANSMISION. LA CORROSION ELECTROQUIMICA EN ESA PARTE DE LAS ESTRUCTURAS SE PRESENTA CUANDO EL ELECTROLITO, EN ESTE CASO EL SUELO, TIENE UN VALOR DE RESISTIVIDAD POR DEBAJO DE 5000 ohm-cm, ES ENTONCES CUANDO FUNCIONAN LAS PILAS DE ACCION LOCAL, EN LA SUPERFICIE METALICA DE LOS SOPORTES, A LO QUE ACOMPAÑA LA CONVERSION QUIMICA DEL METAL EN PRODUCTOS DE CORROSION.

SE DEBE TENER EN CUENTA QUE LA CORROSION NO SE LIMITA A LA FORMACION DE HERRUMBRE EN LA SUPERFICIE DEL METAL SINO QUE TAMBIEN ACTUA EN OTROS SENTIDOS, COMO CUANDO SE PRESENTA LA CORROSION SELECTIVA EN LA QUE EL METAL PRESENTA UN ASPECTO SANO PERO SU RESISTENCIA MECANICA Y DUCTIBILIDAD SE REDUCEN.

PARA PROTEGER A LAS TORRES DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II DE LOS FENOMENOS DE LA CORROSION ELECTROQUIMICA SE UTILIZO EL METODO DE LA PROTECCION CATORICA EN COMBINACION CON RECUBRIMIENTOS METALICOS, POR MEDIO DEL GALVANIZADO DE LAS PIEZAS QUE CONFORMAN LAS ESTRUCTURAS Y RECUBRIMIENTOS ORGANICOS, CON LA APLICACION DE UNA CAPA DE ALQUITRAN DE HULLA EN --

LOS SOPORTES Y HASTA 80 cm POR ENCIMA DEL NIVEL DEL SUELO.

EL PRINCIPIO DE LA PROTECCION CATODICA ES LLEVAR LA POLARIZACION DE LAS ZONAS CATODICAS DE LA ESTRUCTURA, MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA CORRIENTE EXTERNA, MAS ALLA DEL POTENCIAL DE CORROSION HASTA ALCANZAR EL POTENCIAL ANODICO EN CIRCUITO ABIERTO DE LA ESTRUCTURA. EL POTENCIAL ANODICO EN CIRCUITO ABIERTO DEL ACERO ES DE -0.95 VOLTS CON RESPECTO A LA CELDA DE REFERENCIA -- COBRE-SULFATO DE COBRE SATURADO.

EN EL CASO DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II, LA CORRIENTE EXTERNA QUE SE SUMINISTRA A LAS ESTRUCTURAS ES OBTENIDA MEDIANTE LA APLICACION DE PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO. ESTE METODO CONSISTE EN ESTABLECER UNA PILA GALVANICA, CON EL ACERO DE LA ESTRUCTURA Y UN METAL MAS ACTIVO EN LA SERIE ELECTROQUIMICA, POR LO QUE ESTE ULTIMO SUMINISTRA LA CORRIENTE NECESARIA (CORRIENTE DE PROTECCION) PARA LA PROTECCION DE LA ESTRUCTURA. EL VALOR DE LA CORRIENTE DE PROTECCION FUE OBTENIDO MEDIANTE EL CRITERIO DE LA CURVA DE TAFEL.

EL CRITERIO EMPLEADO PARA SABER EL GRADO DE PROTECCION OBTENIDO ES EL DE MEDIR EL POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA PROTEGIDA. DE ACUERDO A ESTE CRITERIO SE PUEDE OBSERVAR EN LOS FORMATOS DE AJUSTE DEL SISTEMA DE PROTECCION-INSTALADO QUE EN TODAS LAS TORRES DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. --- TUXPAN II SE TIENE UNA SOBREPOTECCION MODERADA. ESTA SOBREPOTECCION NO ES PERJUDICIAL PERO PRESENTA LAS DESVENTAJAS DE PERDIDA DE ELECTRICIDAD, EL CONSUMO MAS RAPIDO DE LOS ANODOS DE SACRIFICIO Y EL DESCONCHADO DEL RECUBRIMIENTO DE ALQUITRAN DE HULLA UNA VEZ QUE EL POTENCIAL DE LA ESTRUCTURA ALCANZASE UN VALOR IGUAL O MAYOR A -1.2 VOLTS.

POR LO ANTERIOR, SE AFIRMA QUE EL METODO DE LA PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO HA SIDO BIEN DISEÑADO Y APLICADO EN ESTE EJEMPLO ESPECIFICO DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II. DE TENER CUIDADO CON EL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA INSTALADO TENDRA LA VIDA UTIL SEÑALADA PARA CADA UNA DE LAS TORRES PROTEGIDAS Y SE PODRA EN UN FUTURO SUSTITUIR LOS ANODOS INSTALADOS POR NUEVOS ANODOS QUE PERMITIRAN LA PROLONGACION DE LA PROTECCION CATODICA DE LA LINEA DE TRANSMISION. COMO UN EJEMPLO SE PUEDE MENCIONAR EL CASO DE LA LINEA DE TRANSMISION RIO BRAVO - ALTAMIRA, CONSTRUIDA Y PROTEGIDA CATODICAMENTE EN EL AÑO DE 1973 Y QUE EN UNA REVISION EN EL AÑO DE 1984 NO PRESENTO LA NECESIDAD DE SER REHABILITADA EN NINGUNA DE SUS ESTRUCTURAS POR PROBLEMAS DE CORROSION EN LOS SOPORTES.

COMO SE APUNTO EN LA INTRODUCCION DE ESTE TRABAJO, EL MOTIVO PRINCIPAL-QUE INDUCE TANTO A LA INVESTIGACION DE LOS FENOMENOS DE LA CORROSION COMO AL DESARROLLO DE METODOS PARA CONTROLARLA SON LAS PERDIDAS ECONOMICAS QUE OCA--SIONA. EN LINEAS DE TRANSMISION LAS PERDIDAS DIRECTAS DEBIDAS AL PROBLEMA-DE LA CORROSION SON EL COSTO DE REPONER LAS PARTES DAÑADAS DE LA ESTRUCTURA-Y LA MANO DE OBRA NECESARIA,UNA PERDIDA INDIRECTA IMPORTANTE ES LA INTERRUPT--CION EN EL SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA.

PARA OBTENER EL COSTO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA INSTALADO EN -LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II INCLUYENDO EL COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA Y EL COSTO DE REHABILITAR LOS SOPORTES DE LAS ES--TRUCTURAS A PRECIOS ACTUALES SE HACEN LAS SIGUIENTES ESTIMACIONES:

COSTO DEL SISTEMA DE PROTECCION CATODICA ----- \$34'514,697

COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO:

MANO DE OBRA Y SUPERVISION

	DIARIO	POR 4 DIAS
1 ELECTRICISTA DE 1a	15,457	61,827
2 PEONES	15,176	60,704
1 CHOFER "C"	<u>10,855</u>	<u>43,420</u>

TOTAL MANO DE OBRA Y SUPERVISION \$ 165,952

EQUIPO

	DIARIO	POR 4 DIAS
1 CAMIONETA PICK-UP	<u>64,272</u>	<u>257,088</u>

TOTAL EQUIPO \$ 257,088

MATERIAL

	PRECIO UNITARIO	POR 3 ANODOS
3 ANODOS DE MAGNESIO DE 48 LIBRAS	550,334	1'651,002

TOTAL MATERIAL \$ 1'651,002

TOTAL COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO ----- \$ 2'074,042

COSTO DE REHABILITAR LAS 39 ESTRUCTURAS:

MANO DE OBRA Y SUPERVISION

	DIARIO	POR 39 DIAS
1 SOBRESTANTE "C"	18,747	731,133
4 PEONES	30,352	1'183,728
1 CHOFER "C"	10,855	423,345
1 TOPOGRAFO DE 1a	15,308	597,012
4 MONTADORES DE ESTRUCTURAS	<u>45,340</u>	<u>1'787,760</u>

TOTAL MANO DE OBRA Y SUPERVISION \$ 4'722,978

EQUIPO

	DIARIO	POR 39 DIAS
1 CAMIONETA PICK-UP	64,272	2'506,608
1 CAMION 8 TONS. con winch de 3.5 TONS.	<u>119,440</u>	<u>4'658,160</u>

TOTAL EQUIPO \$ 7'164,768

MATERIAL

(170 Kg/soporte X 4 soportes/estructura = 680 Kg/estructura
680 Kg/estructura X 39 estructuras = 26,520 Kg)

ACERO GALVANIZADO	PRECIO UNITARIO	POR 26,520 Kg
	<u>3,500</u>	<u>92'820,000</u>
<u>TOTAL MATERIAL</u>		<u>\$ 92'820,000</u>

TOTAL COSTO DE REHABILITAR LAS 39 ESTRUCTURAS ----- \$ 104'707,746

CON LAS ESTIMACIONES OBTENIDAS Y LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES: 1.) DE ACUERDO A LA HISTORIA EN LINEAS DE TRANSMISION CON SIMILAR LOCALIZACION Y -- CLIMA SERIA NECESARIO REHABILITAR LAS 39 ESTRUCTURAS DE LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V. - TUXPAN II EN UN PLAZO NO MAYOR A 5 AÑOS. 2.) SE TOMA UNA TASA INFLACIONARIA AHUAL DEL 30% PARA LOS PROXIMOS 5 AÑOS.

PODEMOS COMPARAR EL COSTO DE LA PROTECCION CATODICA INCLUYENDO LOS 5 -- AÑOS DE MANTENIMIENTO CONTRA EL COSTO DE REHABILITAR LA LINEA DE TRANSMISION DENTRO DE 5 AÑOS.

COSTO DE LA PROTECCION CATODICA

COSTO DEL SISTEMA INSTALADO \$ 34'514,697 X 1.5 DE LA TASA INFLACIONARIA -
= \$ 51'722,045 .

COSTO DEL SISTEMA INSTALADO DENTRO DE 5 AÑOS ES LA SUMA DE:

\$ 34'514,697 + 51'722,045 = \$ 86'286,742 .

COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO \$ 2'074,042 X 5 AÑOS = \$ 10'370,210 X 1.5 DE
LA TASA INFLACIONARIA = \$ 15'555,315 .

COSTO DE MANTENIMIENTO DENTRO DE 5 AÑOS ES LA SUMA DE:

\$ 10'370,210 + \$ 15'555,315 = \$ 25'925,525 .

COSTO TOTAL DE LA PROTECCION CATODICA DENTRO DE 5 AÑOS ---- \$ 112'212,267

COSTO DE REHABILITACION

COSTO ACTUAL DE LA REHABILITACION \$ 104'707,746 X 1.5 DE LA TASA INFLACIONARIA = \$ 157'061,619 .

COSTO TOTAL DE LA REHABILITACION DENTRO DE 5 AÑOS ES LA SUMA DE:

\$ 104'707,746 + 157'061,619 = \$ 261'769,365 .

COSTO TOTAL DE LA REHABILITACION DENTRO DE 5 AÑOS ----- \$ 261'769,365

LA DIFERENCIA ENTRE PROTEGER CATODICAMENTE Y REHABILITAR LA LINEA DE TRANSMISION TUXPAN P.V - TUXPAN II REPRESENTA UN AHORRO DE \$ 149'557,098 DINERO CON EL QUE, CONSIDERANDO EL COSTO POR ESTRUCTURA PROTEGIDA OBTENIDO PARA ESTE EJEMPLO ESPECIFICO, SE PUEDEN PROTEGER CATODICAMENTE 67 NUEVAS ESTRUCTURAS.

SE CONCLUYE QUE LA APLICACION DE LA PROTECCION CATODICA EN LAS ESTRUCTURAS DE LAS LINEAS DE TRANSMISION ES DE SUMA IMPORTANCIA DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONOMICO PARA LA INDUSTRIA ELECTRICA NACIONAL, YA QUE DE ACUER

DO AL PROGRAMA DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR ELECTRICO (POISE) SE INCORPORARON EN EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1982-1988 UN TOTAL DE 13,164 -- KMS. DE NUEVAS LINEAS DE TRANSMISION DE 115 KV Y SUPERIORES, QUEDANDO POR INCORPORAR PARA EL PERIODO 1989-1991 UN TOTAL DE 10,026 KMS. Y QUE LA PROTECCION CATODICA ES UN METODO PARA EL CONTROL DE LOS FENOMENOS DE LA CORROSION QUE HA DEMOSTRADO EN LA PRACTICA SER EFECTIVO AL INCREMENTAR LA VIDA UTIL DE LAS LINEAS DE TRANSMISION, AL MISMO TIEMPO QUE SU APLICACION, DE ACUERDO AL CASO EJEMPLIFICADO EN ESTE TRABAJO, CONLLEVA A UNA DEBIDA UTILIZACION DE RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES EN LA OPERACION DE LA RED NACIONAL DE LINEAS DE TRANSMISION.

POR LO ANTES EXPUESTO ES NECESARIA LA APLICACION DEL METODO DE LA PROTECCION CATODICA CON ANODOS DE SACRIFICIO EN TODAS LAS LINEAS DE TRANSMISION EN PROCESO DE CONSTRUCCION A NIVEL NACIONAL.

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

- 1.-CONTROL OF PIPELINE CORROSION, A. W. PEABODY,
, NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS
, U.S.A, 1975.
- 2.-CORROSION Y CONTROL DE LA CORROSION, HERBERT-
H. UHLIG, EDICIONES URMO, ESPARA, 1967.
- 3.-CORROSION Y OXIDACION FUNDAMENTOS, JOHN M. --
WEST, EDITORIAL LIMUSA, MEXICO, 1986.
- 4.-EARTH RESISTANCES, G. F. TAGG, M. I. E. E.,--
GEORGE HEWNES LIMITED, LONDON, 1964.
- 5.-PROCEDIMIENTOS ANTICORROSIVOS DE ESTRUCTURAS-
TANQUES Y TUBERIAS, H. LOPEZ DE RIVERA, FRAN--
CISCO FERNANDEZ DE LA TORRE, CENTRO DE EDUCA-
CION CONTINUA FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM, -
MEXICO, 1975.
- 6.-THEORY OF CORROSION AND PROTECTION OF METALS-
THE SCIENCE OF CORROSION, NIKON D. TOMASHOV, -
THE MacMILLAN COMPANY, U.S.A., 1966.
- 7.-AMERICAN ZINC INSTITUTE INC., PUBLICATION AZI-
31-25M, ZINC ANODES FOR CATHODIC PROTECTION.
- 8.-COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, LABORATORIO
, AREA DE INGENIERIA, REPORTE TECNICO B04-63-
PROTECCION CATODICA, 1981.
- 9.-COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, LABORATORIO
, AREA DE INGENIERIA, REPORTE TECNICO B5-36 -
PROTECCION CATODICA, 1980.
- 10.-HARCO CORPORATION, CATHODIC PROTECTION DIVI--
SION, PAPER HC-22, RECTIFIER UNITS FOR CATHO-
DIC PROTECTION, B. HUSOCK P.E., U.S.A., 1960.

- 11.-HARCO CORPORATION, CATHODIC PROTECTION DIVI--
SION, A BRIEF GUIDE TO MAGNESIUM ANODE SELEC-
TION, B. HUSOCK.
- 12.-HARCO CORPORATION, CATHODIC PROTECTION DIVI--
SION, HOW TO BUY "HARCO CERTIFIED" MAGNESIUM-
AND ZINC ANODES FOR UNDERGROUND APPLICATIONS.
- 13.-INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, METALLURGICAL
AND ENGINEERING DEPARTMENT, DETERMINATION OF-
TAFEL SLOPES AND RATES FROM CATHODIC POLARISA-
TION CURVES: A GRAPHICAL METHOD, S. K. ROY,-
S. C. SIRCAR, INDIA, 1978.
- 14.-WEST VIRGINIA ENGINEERING EXPERIMENTAL AND --
STATION TECHNICAL BULLETIN, VOLUME 103, PAGES
127-143, APPLICATION OF CATHODIC PROTECTION,-
DICK A. TEFANKJIAN, WEST VIRGINIA UNIVERSITY,
1971.
- 15.-WEST VIRGINIA ENGINEERING EXPERIMENTAL AND --
STATION TECHNICAL BULLETIN, VOLUME 89, PAGES-
135-149, APPLICATION OF CATHODIC PROTECTION,-
DICK A. TEFANKJIAN, WEST VIRGINIA UNIVERSITY,
1968.