

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción.**

“Mejoramiento del Proceso de Recubrimiento Galvanizado en Frío
en Uniones Soldadas de Torres de Alta Tensión”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

Emma Petita Luque Prado

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra manera me ayudaron en la realización de este trabajo y en especial al Ing. Ignacio Wiesner Falconí, Director de Tesis, por todo el apoyo brindado.

DEDICATORIA

A Dios, a mi Madre y en especial a mis hijos Hugo y María José, fueron ellos quienes me dieron ánimo para retomar algo que había dejado olvidado y culminar con esta etapa de mi vida.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Sandra Vergara .
VOCAL

Ing. Andres Rigail C
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Emma P. Luque Prado.

RESUMEN

Se ha evaluado técnicas de aplicación de pinturas en muestras sometidas hasta 400 horas en Cámara de Niebla Salina. Las muestras corresponden a perfiles de acero galvanizado en caliente bajo diferentes condiciones de recubrimiento superficial con pinturas conocidas como “galvanizador en frío” y son usadas en parte de la línea de la red nacional, específicamente en Pascuales. Porque las torres de distribución sufren efectos dañinos de las estaciones invernales, aumentando su deterioro por corrosión.

Los resultados experimentales hechos en Cámara de Niebla Salina evidencian que las pinturas usadas tienen buen desempeño como protectores de la corrosión ya que los valores encontrados son de 5.84 mpy que está por debajo de los índices normales para perfiles galvanizados en caliente. La técnica que mejor funcionó es la del recubrimiento con pintura de aluminio y es la que se recomienda usar para trabajos de mantenimiento del galvanizado en las torres de distribución de la zona de Pascuales.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. DEFINICION	DEL
PROBLEMA.....	3
1.1 Mantenimiento preventivo de las bases de las torres de alta tensión.....	6
1.2 Mecanismos de corrosión en las bases de las torres del sistema nacional.....	9
1.3 Daños que se ocasionan en las bases de las Torres.....	14
1.4 Formas de prevención de la corrosión y costos involucrados.....	18

CAPÍTULO 2

2. SOLUCION DEL PROBLEMA.....	23
2.1. Procedimiento Experimental y elaboración de Probetas de pruebas.....	24
2.2. Equipo de Laboratorio y normas usadas.....	27
2.3. Ensayos de corrosión acelerada y evaluación de los cuerpos de prueba.....	34
2.4. Evaluación de las técnicas de protección.....	38

CAPÍTULO 3

3. EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DEL PROBLEMA.....	44
3.1. Tiempo estimado de la protección.....	45
3.2. Costos involucrados en la aplicación en las torres de distribución.....	47

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
4.1. Conclusiones.....	50
4.2. Recomendaciones.....	51

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ASTM B-117	Norma ASTM
ASTM B-780	Norma ASTM
KV	Kilovoltios
mils	Miles
°C	Grado centígrado
cm ²	Centímetro cuadrado
m ²	Metro cuadrado
ml/hr	Mili litro por hora
rpm	Revoluciones por minuto
HP	Horse power (Caballos de fuerza)
SSPC-SP/NACE	Normas NACE
gr	Gramos

mpy

Pulgada o mili-pulgada por año

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Subestación transelectric Pascuales.....	4
Figura 1.2 Partes Afectadas Por La Corrosión.....	5
Figura 1.3 Corrosión Debido A Fisuras En Base De Hormigón.....	7
Figura 1.4 Ambientes Corrosivos.....	14
Figura 1.5 Medición De Corrosión De Uniones Soldadas, Bases Y Pernos.....	14
Figura 1.6 Destrucción Del Galvanizado De Uniones Soldadas, Bases Y Pernos.....	15
Figura 1.7 Bases De Hormigón Con Corrosión.....	15
Figura 1.8 Sector Guangopolo.....	16
Figura 1.9 Sector Guangopolo.....	17
Figura 1.10 Subestación Trinitaria.....	18
Figura 2.1 Pesaje De Probetas.....	26
Figura 2.2 Medidor De Espesores De Pintura.....	26
Figura 2.3 Medición De Espesor De Pintura En Probetas.....	27
Figura 2.4 Componentes Del Equipo Para Ensayo De Corrosión Acelerada.....	27
Figura 2.5 Limpieza Con Sandblasting (Arena A Presión).....	33
Figura 2.6 Limpieza Utilizando Lija	33
Figura 2.7 Limpieza Metálica Usando Cepillo	34
Figura 2.8 Probeta Testigo Vista Al Microscopio.....	34
Figura 2.9 Micro estructura De Acero Galvanizado En Caliente.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Manual de procedimientos de mantenimiento en torres de alta Tensión.....	8
Tabla 2. Breves características de los recubrimientos a usarse.....	25
Tabla 3. Equipo Utilizado En Laboratorio.....	28
Tabla 4. Norma ASTM B117 Para Cámara De Niebla Salina.....	29
Tabla 5. Condiciones De Aplicación De Las Pinturas Protectoras.....	31
Tabla 6. Presentación En Secuencia De Fotos De Corrosión Aceleradas De Probetas Expuestas A Las 100 Horas.....	35
Tabla 7. Presentación En Secuencia De Fotos De Corrosión Aceleradas De Probetas Expuestas A Las 200 Horas.....	36
Tabla 8. Presentación En Secuencia De Fotos De Corrosión Aceleradas De Probetas Expuestas A Las 400 Horas.....	37
Tabla 9. Mediciones De Pesos Al Inicio Y Final Del Ensayo.....	38
Tabla 10. Mediciones De Espesores Al Inicio Y Final Del Ensayo.....	38
Tabla 11. Especificaciones Técnicas Del Convertidor De Oxido.....	39
Tabla 12. Especificaciones Técnicas Del Galvanizador En Frío.....	40
Tabla 13. Especificaciones Técnicas Del Acero Inoxidable Líquido.....	41
Tabla 14. Especificaciones Técnicas Del Anticorrosivo De Acabado De Aluminio.....	42
Tabla 15. Especificaciones Técnicas Del Anticorrosivo Especial De Larga Durabilidad.....	43
Tabla 16. Evaluación De La Velocidad De Corrosión.....	46
Tabla 17. Precios Por Galón De Los Diferentes Recubrimientos.....	47

INTRODUCCIÓN

A través de los años que vengo trabajando en la venta de Productos de Mantenimiento Industrial y específicamente pinturas me he acercado a la problemática de mejorar el recubrimiento del galvanizado en caliente de estructuras, que es lo que el cliente nos solicita con el fin de evitar o detener la corrosión y es por eso que he decidido hacer unos experimentos en los laboratorios de INTRAMET, para encontrar una respuesta positiva a este problema, ya que todo lo que se ha hecho hasta el momento ha sido de una manera empírica.

La subestación Transelectric Pascuales fue tomada en consideración para ser evaluada, en ella encontramos una gran cantidad de torres de alta tensión las cuales están expuestas a diferentes ambientes atmosféricos, los cuales afectan a los perfiles galvanizados llegando en algunos casos a perder casi en su totalidad su recubrimiento protector de zinc .

A fin de que se cumpla este objetivo se han establecido objetivos específicos que tienen relación con las siguientes acciones que serán resueltas durante el desarrollo de la presente Tesis de Grado.

En primer lugar se analizarán los métodos de aplicación de las pinturas. En segundo lugar se evaluarán los materiales con los que fueron recubiertos los perfiles que se utilizan para la fabricación de las torres de alta tensión, los cuales serán sometidos a ensayos de laboratorio en Cámara de Niebla Salina para conocer su capacidad de resistencia a la corrosión, que posee características proporcionadas por la norma ASTM B-117, y para los ensayos se sigue la Norma ASTM B-780. Conociendo la mejor pintura se encontrará los costos que genera el mantenimiento de las bases de las torres, afectadas por corrosión cuando se aplica pinturas existentes en el mercado y que son hechas: en el caso del convertidor de óxido el propelente es hidrocarbon, el galvanizador en frío está formulado con un aglutinante tenaz de resina, el revestimiento de acero inoxidable es un ester de resina epóxica con partículas en suspensión puras de acero inoxidable SAE 316, el anticorrosivo de acabado de aluminio es de base acuosa y por último el anticorrosivo especial de larga durabilidad que es un recubrimiento en base de uretano que contiene inhibidores de corrosión en fase de vapor.

CAPITULO 1

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

La mayoría de las torres de alta tensión que distribuyen la energía eléctrica de 130 Kv. a nivel nacional de la Cia. Transelectric Pascuales fueron construidas por una empresa Japonesa hace un poco más de 30 años, por lo que es necesario hacer Mantenimiento Preventivo, para lograr el objetivo del fabricante el cual es que duren 50 años.

Estas torres, por estar expuestas a distintos ambientes, pierden su capa de Galvanizado original, que es un galvanizado en caliente, haciéndose

necesaria su restauración periódica, para ello se recurre al uso de galvanizado en frío, acero inoxidable líquido, pinturas en base de polvos de aluminio, que suplen el galvanizado original (Hot dip), por inmersión en zinc fundido.

El galvanizado en caliente se usa desde hace más de 120 años para proteger el acero de la oxidación. El recubrimiento protector se produce al sumergir productos de acero en un baño de zinc fundido, el espesor de zinc que se forma sobre el acero lo protege de dos maneras, protección de barrera y protección galvánica (catódica) que es la que permite que el acero pueda permanecer sin corroerse actuando como cátodo mientras que el zinc actúa como ánodo sacrificándose.



FIGURA 1.1 SUBESTACION TRANSELECTRIC PASCUALES

Vale recalcar que previa a la aplicación de cualquier recubrimiento, se hace una inspección visual para luego analizar el tipo de preparación superficial o de tratamiento que se debe realizar a la superficie, inclusive sandblasting.

En adelante, se irán descubriendo las técnicas que han sido usadas a través del tiempo.



FIGURA 1.2 PARTES AFECTADAS POR LA CORROSION

1.1 Mantenimiento preventivo de las bases de las torres de alta tensión

Para realizar el Mantenimiento Preventivo de las Torres de Alta Tensión es necesario elaborar un pequeño instructivo en el que se detallen ciertas condiciones que quedarán archivadas para su respectivo control.

Así de esta manera se tendrá un histórico de cuántas veces se le ha dado mantenimiento a dicha torre en el año, así como también si sus condiciones físicas de trabajo han variado, es decir si se ha alterado su ambiente atmosférico ya sea por la presencia de nuevas industrias, excesivas lluvias, etc.

Se presenta en la siguiente fotografía, base de una torre de transmisión en la que se aprecia el deterioro de la parte de hormigón por fisuras en la zona estructural insertada en la masa de concreto que ha sido permeable al agua y está corroyendo la estructura internamente.



**FIGURA 1.3 CORROSION DEBIDO A FISURAS EN BASE DE
HORMIGON**

Se ha diseñado la siguiente hoja de control para que el personal debidamente entrenado, realice reporte a Jefatura de Mantenimiento para tener registrado las condiciones de las Torres.

TABLA 1

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

DE MANTENIMIENTO EN TORRES DE ALTA TENSION

ACTIVIDAD:

CORRECCION DE FALLAS
DE GALVANIZADO EN
TORRES DE ALTA TENSION

CODIGO:

IDENTIFICACIÓN DE
TORRE POR
SUBESTACIÓN

EQUIPO:

ESTRUCTURAS

HOJA:

1/1

CONDICIONES NECESARIAS PARA REALIZAR EL TRABAJO	PERSONAL:
Reportar al jefe de línea trabajos que se van a realizar siempre y cuando las condiciones climáticas lo permitan	Linieros Ayudantes de linieros MATERIALES E INSUMOS: - Primer, galvanizador, acero inoxidable, etc.
PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR LA ACTIVIDAD:	COMUNICACIONES:
Proceder a realizar limpieza en zona utilizando equipo y material respectivo. Hacer informe sobre el tipo de trabajo realizado en la torre.	Radio Base Celular Radio Portátil REPUESTOS: HERRAMIENTAS: -Equipo de seguridad personal -Vehículo -Cepillos de Acero -Lijas -Brochas
NOTAS:	ELABORADO POR:
Fecha de próxima inspección, así como anomalías encontradas.	
	REVISADO POR:

1.2 Mecanismos de corrosión en las bases de las torres del sistema nacional

La influencia que han tenido los metales en el progreso de la humanidad ha sido decisiva. Como no pueden utilizarse en su estado natural, deben someterse a un proceso, que aunque en algunos casos es costoso, su rendimiento es tan grande que no admite comparación. Principalmente por la acción de los agentes de la naturaleza agua y aire, y algunas veces en colaboración con otros elementos, concentraciones, temperatura, activación microbiana, etc. tienden a volver a una forma más estable, un ejemplo de ello es la corrosión del hierro que por la acción de los elementos se convierte en óxido de hierro.

La corrosión puede definirse de varias maneras:

1. La destrucción o deterioro de un material debido a la reacción con el medio que lo rodea.
2. La destrucción de un material por otros medios directamente mecánicos.
3. Termodinámicamente, los materiales buscan alcanzar condiciones estables. Los metales oxidados alcanzan alta estabilidad; entonces se diría que la corrosión es un proceso

inverso a la metalurgia extractiva. Muchas de las pérdidas enunciadas se deben a la corrosión del fierro y del acero, aunque muchos otros metales también pueden corroerse.

Podemos definir la corrosión como el daño que sufren los materiales por las acciones del medio en que se encuentran, produciendo pérdidas en sus propiedades mecánicas de resistencia, lo que da lugar a cambios en la geometría de las estructuras y componentes que les hacen perder la función para la cual estaban determinadas.

No obstante que otros materiales, además de los metales (como la madera, plástico, etc.), pueden corroerse, el término es empleado especialmente al deterioro de metales. Algunas propiedades de los materiales pueden ser aceleradas debido a la corrosión y esto puede ocasionar fallas inesperadas.

La causa de que un metal se corroa depende de la cantidad de energía que se le aplica a su mineral base para transformarlo en un metal comercial. La energía (calorífica) necesaria para extraer los metales de sus minerales (compuestos químicos naturales) es almacenada en el propio metal. Durante el proceso de corrosión, el metal revierte el proceso artificial para regresar a su estado natural.

La velocidad de regreso del metal a su estado natural como mineral es directamente proporcional a la cantidad de energía almacenada por él mismo.

La cantidad de energía que se requiere y almacena varía de metal a metal. Es relativamente alta en metales como el magnesio, aluminio, hierro y baja en metales como la plata y el oro. Por lo que la tendencia a la corrosión es más alta para el magnesio, aluminio y hierro que para la plata y el oro.

La "herrumbre" es producto de la corrosión del fierro y de los materiales en los que éste es el metal base. En este proceso de oxidación se forman productos de corrosión compuestos en su mayor parte por óxidos hidratados. Los metales no ferrosos se corroen pero no se aherrumbran.

Todos los procesos de corrosión se fundamentan en equilibrios. Si se ha alcanzado un equilibrio, se para el proceso de la corrosión, mientras que un equilibrio que evoluciona significa la continuación del proceso de corrosión.

La Corrosión ha sido clasificada de muchas maneras.

- Corrosión en baja temperatura y corrosión en alta temperatura.
- Corrosión directa (u oxidación) y corrosión electroquímica.

En la corrosión de los galvanizados influyen muchos factores y su protección depende primordialmente del espesor del recubrimiento y la severidad de las condiciones de exposición.

Menciono a continuación algunos de los factores que influyen en la corrosión.

Ambientes Industriales y Urbanos.- En esta clasificación de exposición atmosférica están comprendidas las emisiones industriales generales tales como gases sulfurosos, neblinas y vapores corrosivos que se liberan inadvertidamente de las plantas químicas, refinerías y plantas de procesamientos similares. Las condiciones de corrosión más agresivas puede esperarse que ocurran en áreas de actividad industrial intensa donde el recubrimiento frecuentemente está expuesto a la lluvia o a una condensación. En estas áreas, los compuestos de azufre se combinan con la humedad del aire y convierten los normalmente

impermeables óxidos y carbonatos de zinc en sulfitos de zinc y sulfatos de zinc, siendo estos solubles en agua, se lavan fácilmente con la lluvia, dejando así expuesta una superficie de zinc despejada para que comience un nuevo ciclo de la corrosión.

Ambientes Rurales y Suburbanos.- A diferencia de los ambientes industriales, los entornos de las atmósferas rurales y suburbanas son relativamente benignos, particularmente si las exposiciones se encuentran lejos de las costas y de las actividades industriales y urbanas. Aquí e estas atmósferas la corrosión es relativamente lenta. Debido a que las películas de la reacción de zinc que se forman en estas atmósferas tienden a ser adherentes y por lo general no se deslavan de la superficie del zinc, su retención al zinc proporciona una protección superior al acero.

Ambientes Marinos.- La protección de la galvanización en los ambientes marinos está influenciada por la proximidad del litoral, topografía costera y vientos que prevalezcan. En el aire marino, los cloruros de la niebla de mar reaccionan con la película normalmente protectora y producen cloruros de zinc solubles. Estas sales de zinc pueden eliminarse de la superficie con la lluvia o la neblina, y dejar expuesta una superficie de zinc despejada que reaccione más

adelante. Bajo algunas condiciones, la velocidad de corrosión podría acelerarse por la arena que sopla el viento que puede extraer la película de zinc de la superficie expuesta.



FIGURA 1.4 AMBIENTES CORROSIVOS

Las Figura 1.4 son los diferentes ambientes a los que están expuestas las Torres de alta tensión

1.3 DAÑOS QUE SE OCASIONAN EN LAS BASES DE LAS TORRES

Las Figura 1.5 muestra la Medición de Corrosión en uniones soldadas, en base y perno respectivamente.



FIGURA1.5 MEDICIÓN DE CORROSIÓN DE UNIONES SOLDADAS, BASES Y PERNOS

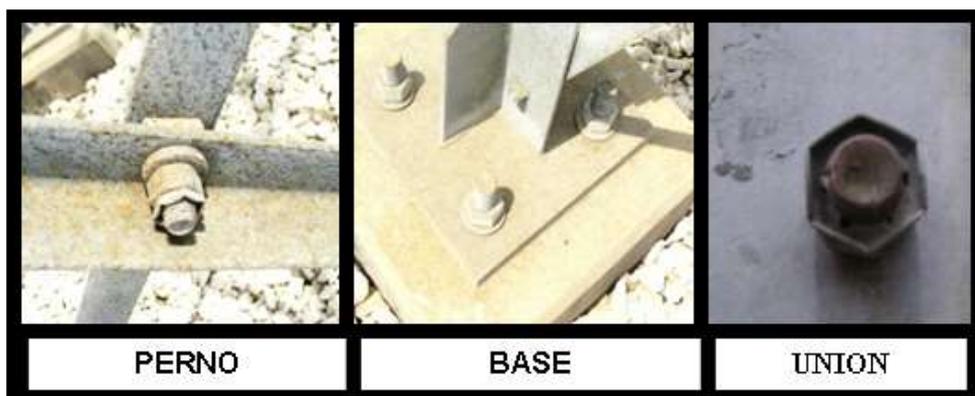


FIGURA1.6 DESTRUCCION DEL GALVANIZADO DE UNIONES SOLDADAS, BASES Y PERNOS

La Figuras 1.8 muestra la destrucción del galvanizado en pernos, base y uniones soldadas.



FIGURA1.7 BASES DE HORMIGON CON CORROSIÓN

La Figura 1.9 muestra la corrosión en bases de hormigón debido a fisuras, polvo excesivo y destrucción en bases.

Con la finalidad de tener datos concretos del estado de las bases de las torres en varios sitios de la red se hicieron mediciones en los 2 ambientes; rural y semi-industrial y los resultados se muestran en

formas de reportes de medición de espesores de galvanizado y fotografías que se exponen a continuación:

En nuestro recorrido realizado por el Sector Guangopolo, recibimos la información que estas torres fueron construidas hace 30 años, son de acero galvanizado, aunque no tenemos ningún detalle histórico la norma recomienda espesores de zinc de aproximadamente 80 a 90 micras o lo que es o mismo de 3.14 a 3.5 mils.

Aquí se realizaron mediciones de espesores en diversos sectores de una de las estructuras, siendo sus valores fluctuantes entre 110 y 230 micras, se hicieron alrededor de nueve mediciones (160/110/140/140/140/130/189/203 y 230 micras)



FIGURA 1.8 SECTOR GUANGOPOLO

Cabe indicar que el ambiente es de tipo rural, lo cual nos indica como lo mencionamos en el tema anterior que no es muy agresivo, es decir que el galvanizado debería durar más, con unas temperaturas de alrededor de 25 grados centígrados, pero si se nota

la presencia de una coloración rojiza oscura, que aparenta destrucción del galvanizado, pero que de acuerdo a los técnicos todavía queda suficiente capa de galvanizado.

También se realizó una visita a la Subestación Transelectric Pascuales donde existe un problema de oxidación de pernos y tuercas soldadas de los antiescalantes, existen alrededor de 1040 piezas, unos 10000 puntos.

Aprovechamos para medir espesores de una torre galvanizada ubicada a la salida de la subestación, aquí hay presencia de polvo por encontrarse muy cerca una cantera y se pudieron detectar valores entre 112/175/162/135/150 y 300 micras.



FIGURA 1.9 SUBESTACION PASCUALES

Otra de las visitas que se realizó fue a las torres de Transelectric que están junto a la Central termoeléctrica Trinitaria. Esta visita fue hecha básicamente para comparar valores de medición de espesores en áreas que presentaban corrosión eran de (165/254/292) y las que no lo tenían (107/114/127/139).



FIGURA 1.110 SUBESTACION TRINITARIA

1.4. Formas de prevención de la corrosión y costos involucrados.

Existen varias formas para prevenir la corrosión, siendo indispensable hacer un análisis racional para encontrar el método más apropiado y económico en cada caso. Conociéndose los agentes que concurren en él, se puede conocer y cuantificar la naturaleza del ataque corrosivo.

Generalmente con cualquiera de los métodos citados a continuación se obtienen protecciones bastante eficaces, pero habrá casos en los cuales se podrán combinar los mismos:

Eliminación de Agentes corrosivos.- Aquí se podrían encontrar sustancias corrosivas como productos de un proceso que con alguna variación ya sea de temperatura, presión, humedad, cambio de combustible, etc., se pueden eliminar sin necesidad de modificar básicamente dicho proceso.

Adición de inhibidores.- Existen algunas sustancias que reducen o eliminan la acción corrosiva de algunos agentes. Para esto basta determinar el tipo de inhibidores y la dosis adecuada, ya que existe una gran variedad de ellos.

Eliminación de áreas donde puedan acumularse sustancias que la favorezcan.- La acumulación de polvo, gases, suciedad, en algunos lugares, representan zonas expuestas a la corrosión, que generalmente rigen la vida útil de los mismos.

Materiales resistentes a la corrosión.- Al utilizar materiales resistentes a la corrosión, solamente el sacrificio de las propiedades

físicas como resistencia, fatiga de trabajo, etc. Y el factor económico determinarán el material más conveniente.

Protección catódica.- La corrosión es en muchos casos un fenómeno electroquímico, en el cual las áreas aniónicas en contacto con el electrolito se corroen y las áreas catiónicas permanecen intactas. Esto equivale a una pila galvánica, lo cual se puede compensar con otra pila para invertir el sentido del flujo.

Aislamiento entre medio ambiente y superficie por proteger.- En algunos metales este aislamiento se produce por medios naturales, como por ejemplo el plomo, el zinc, el aluminio, el cobre, etc., que forman óxidos en algunos casos rápidamente y en otros lentamente, según la tendencia que tenga el metal a oxidarse dependiendo también de las condiciones del medio. Un caso muy conocido a citarse es la lámina galvanizada en donde el hierro se ha recubierto de zinc, ya que su óxido es impermeable a la humedad y al oxígeno, no permitiéndoles llegar al hierro e iniciar la corrosión.

Existen también otras sustancias que pueden aislar el medio del substrato, tales como el ácido fosfórico, ácido crómico, algunos álcalis, etc.

Por último existen otros medios para aislar las superficies susceptibles a corroerse y son las capas orgánicas impermeables o

semi-impermeables a la humedad. Uno de los más conocidos y que más versatilidad ofrece, es la pintura ya que puede encontrarse casi siempre con todas las cualidades necesarias. Si hay muchos tipos de pintura, que aún cuando no son completamente impermeables a la humedad y al oxígeno, si sirven como agentes aislantes y que al aumentar el espesor de la película, la tendencia a la corrosión disminuye. Si el contacto de la pintura con el metal puro no es completo, como sucede al pintar sobre el metal oxidado, al filtrarse la humedad y el oxígeno a través de la capa de pintura y unirse, éstos forman la pila galvánica y por lo tanto la corrosión seguirá progresando en esos puntos.

De la naturaleza del ataque corrosivo dependerá el tipo de pintura que se deba utilizar. En los últimos años han surgido muchas industrias químicas que producen ambientes corrosivos más fuerte cada vez y por lo tanto también se han desarrollado películas orgánicas más resistentes, existe una gran variedad de vehículos que se utilizan en las pinturas resistentes a la corrosión. Los aceites secantes, ya sean solos o en combinación con resinas naturales, estos fueron los primeros empleados con estos fines.

Más tarde con las **resinas alquídicas** modificadas con aceites, se obtuvieron películas más resistentes a la corrosión, pero no lo suficientes para combatir ataques severos.

Las **resinas fenólicas** se encuentran entre las que se emplean con mayor frecuencia, secan muy rápido por evaporación y se pueden repintar enseguida. Producen capas de buena adhesión y resistentes al agua, pero tienen la desventaja que los disolventes fuertes la atacan y son poco flexibles, por lo que deben utilizarse en combinación con aceites o resinas alídicas de tipo corto o medio.

También existen los acabados vinílicos, resinas epóxicas, resinas fenólicas, resinas amínicas, estos acabados son muy duros y poco flexibles.

CAPITULO 2

2. SOLUCION DEL PROBLEMA

La apreciación de la resistencia a la corrosión de los materiales se realiza con base en ensayos de laboratorio. Se valora cualquier característica del material, relacionada con la destrucción química desarrollada durante la acción del medio agresivo sobre la probeta.

La importancia de los datos sobre la resistencia a la corrosión para efectos prácticos en la industria se hace apremiante, debido a los altos costos asociados al fenómeno. Se recurre entonces a los ensayos acelerados de corrosión, los cuales suministran valiosa información para crear programas preventivos y de mantenimiento.

Los ensayos de laboratorio, llamados también ensayos rápidos se efectúan tratando de exagerar las condiciones de exposición que se presentan en servicio.

Entre los ensayos de laboratorio se encuentran los siguientes:

- Inmersión Total o Parcial de Simulación Atmosféricas
- Exposición a Vapores Nítricos
- Atmósferas Húmedas entre los que se encuentra el de Niebla Salina.

2.1 Procedimiento experimental y elaboración de probetas de prueba

Aquí nuestro objetivo experimental es encontrar el comportamiento de diferentes formas de aplicación de las pinturas sobre fallas de galvanizado en caliente por corrosión.

Para este procedimiento hemos recurrido al uso de la Cámara de Niebla Salina con especificaciones en la norma ASTM B-117.

TABLA 2
BREVES CARACTERISTICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS A
USARSE

ítem	Recubrimiento	Características	Tiempo de secado al tacto	Figuras
1	Galvanizado en caliente		-----	
2	Convertidor de óxido			
3	Galvanizador en Frío	Está formulado con aglutinante tenaz de resina	35 minutos	
4	Revestimiento de Acero Inoxidable	Ester resina epóxica con partículas en suspensión puras de acero inoxidable 316	45 minutos	
5	Anticorrosivo de acabado de aluminio	Base acuosa, contenido de sólidos 35.42%	2 horas	
6	Anticorrosivo especial de larga durabilidad	Recubrimiento de uretano contiene inhibidores de corrosión en fase de vapor	1 hora	

Para realizar esta prueba se han seleccionado seis probetas que son ángulos con los que se construyen las torres de alta tensión que vienen galvanizadas, y a las cuales se las ha pesado después de haberseles aplicado las diferentes pinturas, luego se procede a medir sus respectivos espesores.



FIGURA 2.1 PESAJE DE PROBETAS

Esta fotografía nos muestra el medidor con el que podemos tomar las lecturas de los diferentes espesores de los recubrimientos aplicados



FIGURA 2.2 MEDIDOR DE ESPESORES DE PINTURA



FIGURA 2.3 MEDICION DE ESPESOR DE PINTURA EN PROBETAS

2.2 Equipo de laboratorio y norma utilizada

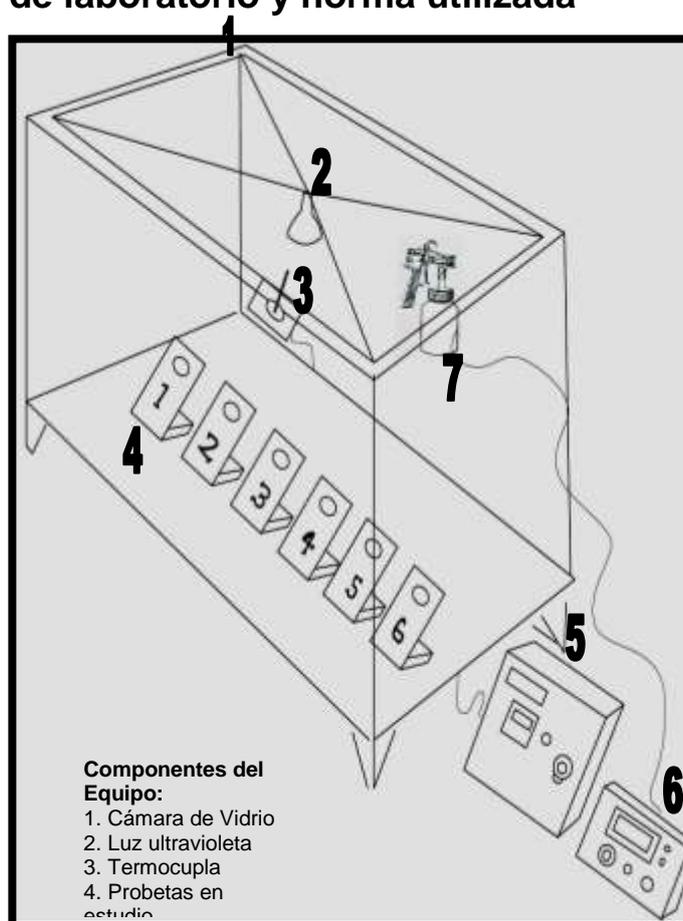


FIGURA 2.4 COMPONENTES DEL EQUIPO PARA ENSAYO DE CORROSION ACELERADA

TABLA 3
EQUIPO UTILIZADO EN LABORATORIO

Ítem	Descripción	Figura
1	Cámara de Niebla Salina ASTM B 117	
2	Controlador de Temperatura de Termocupla	
3	Control de tiempo de atomización	

Atmósferas Húmedas.- Este tipo de ensayos son especiales para simular condiciones en regiones tropicales por medio de condensación de agua, debido a cambios ostensibles de temperatura, y así estudiar efectos de agentes corrosivos que secos son inofensivos al metal. Entre los de este tipo se encuentran los ensayos de niebla salina.

Para ello se necesita cumplir con ciertos parámetros como diseño de la Cámara Salina (ASTM B-117) aquí se pretende dar a conocer los

parámetros básicos para el diseño de un equipo de análisis de corrosión en materiales, cuyas severas condiciones ambientales, se crean mediante la formación de una niebla salina a la que se exponen las muestras.

A continuación presento la tabla 2 de parámetros de normas ASTM B117

TABLA 4

NORMA ASTM B117 PARA CAMARA DE NIEBLA SALINA

Norma	Geometría del espacio interior	Temperatura (° C)	Humedad Relativa %	Pulverización
ASTM B-117	Tamaño mínimo recomendado 15 pies cúbicos	33.3 a 37	95 a 98	Precipitación de la niebla en un área de 80 cm ² .

Aislamiento Térmico.- Se establece que en la cabina no haya pérdidas significativas de calor, y se garantice que la temperatura dentro de la zona de exposición de la cámara varíe entre 35°C y 38°C.

Sistema de Generación de Niebla.- Para que este ensayo produzca los resultados esperados es necesario disponer de lo siguiente:

- a) **Pulverizador:** Es un dispositivo en el que al pasar una corriente de aire a través de un pequeño orificio, se producen en éste, velocidades tales que su presión llega ser suficientemente pequeña, de tal manera que la diferencia de

presión actúe como una fuerza impulsadora que haga fluir hasta la boquilla, el líquido que se va a pulverizar.

- b) Aprovechamiento de Solución Salina:** La solución salina, es de acuerdo con la norma, de 4% a 6% de NaCl disuelto en agua destilada; la cantidad de niebla debe ser tal que, en un área colectora horizontal de 80 cm² se produzca una deposición de 1 a 2 ml/hr de pulverización continua. La solución se prepara disolviendo 5+/-1 partes por peso de cloruro de sodio en 95 partes de agua destilada que no contenga más de 200 ppm de sólidos en total. El cloruro de sodio deberá estar libre de impurezas y de otros elementos que impidan al atomizador su función normal.
- c) Compresor:** Debe funcionar con una presión para la práctica entre 1 y 5 atmósferas.
- d) Tanque de reserva de solución salina:** Este tanque va conectado al alimentador del aspersor; debe tener una capacidad de almacenamiento para trabajo mínimo de 24 horas.

Elemento Calefactor de la Cámara: Tiene como función calentar la zona de trabajo a un rango de 35°C y 38°C., leída por un

termómetro con una escala de 0°C a 140°C y conectado a un termostato que la desconecta automáticamente al llegar a la temperatura requerida.

Compresor y su motor: Posee una capacidad de bombeo de 150 psi, el motor eléctrico debe tener las siguientes características: 1725 rpm, 110/220V, de 1 HP.

Otro punto muy importante a tomarse en cuenta son las condiciones existentes y el tipo de tratamiento a darse a la probeta:

TABLA 5
CONDICIONES DE APLICACIÓN DE LAS PINTURAS
PROTECTORAS

El acero es aceitoso o grasoso	Frote con trapos y solvente Xilol, asegúrese de cambiar los trapos a menudo para evitar la contaminación
Oxido Ligero o Pintura Vieja	Con cepillo de alambre o con una herramienta eléctrica quite el óxido luego frote la superficie con un trapo con solvente Xilol
Oxido pesado o escamas de óxido	Se debe usar sandblasting de tipo comercial
Galvanizado en caliente viejo y oxidado	Use cepillo de alambre para remover sales de Zinc y óxido, luego limpie con trapos con solvente Xilol.
Reparar partes soldadas	Una vez fría la superficie y elimine las partículas de escoria y otras imperfecciones de la superficie. Limpie con un trapo con solvente Xilol y asegúrese de que no permanezca aceite, polvo o grasa. Aplique galvanizador y solape por lo menos 1" sobre la pintura existente o área galvanizada.
Alta temperatura	Usted debe usar sandblasting SSPC SP 10 casi blanco.

Cuando se menciona de hacer un sandblasting lo que se quiere decir es que se debe hacer la limpieza utilizando un sandblaster que significa usar un equipo que contiene arena seca y de grano fino que va a salir a través de una boquilla, y cuyo tanque va hacer accionado con la ayuda de un compresor, este equipo dará cierto tipo de acabados los cuales se los conoce como SSPC: The Society for Protective Coatings (Sociedad para la Protección de Recubrimientos). Existen varios grados de Normas SSPC y NACE a continuación mencionaremos unas cuantas:

SSPC-SP 7/NACE No. 4 Limpieza con cepillo de alambre

SSPC-SP 14/NACE No. 8 Limpieza con soplo o chorro industrial

SSPC-SP 10/NACE No. 1 Limpieza con chorro para metales blancos.

Estos son algunos de los elementos que se utilizan para la preparación de la superficie, previo al uso de cualquier tipo de recubrimiento.

El equipo de sandblaster el cual realiza el proceso de limpieza enviando arena a presión , que se encuentra almacenada en el tanque y es expulsada con la ayuda de un compresor.



FIGURA 2.5 LIMPIEZA CON SANDBLASTING (ARENA A PRESION)



FIGURA 2.6 LIMPIEZA UTILIZANDO LIJA



FIGURA 2.7 LIMPIEZA METALICA USANDO CEPILLO

2.3 Ensayos de corrosión acelerada y evaluación de los cuerpos de prueba.



FIGURA 2.8 PROBETA TESTIGO VISTA AL MICROSCOPIO

A continuación se puede con la ayuda del microscopio apreciar a la probeta testigo, donde se ve bien marcada la zona donde está

protegida con galvanizador en caliente, como también donde no existe protección

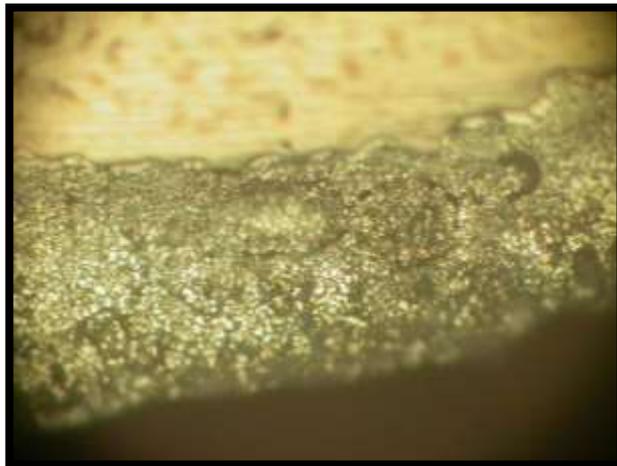


FIGURA 2.9 MICROESTRUCTURA DE ACERO GALVANIZADO EN CALIENTE

TABLA 6

PRESENTACION EN SECUENCIA DE FOTOS DE CORROSION ACELEADA DE PROBETAS EXPUESTAS A LAS 100 HORAS

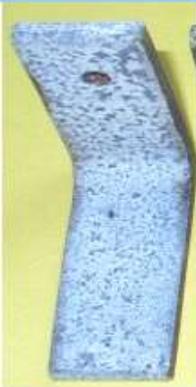
ITEM	FOTOS	ITEM	FOTOS
1		2	
3		4	
5		6	

TABLA 7
PRESENTACION EN SECUENCIA DE FOTOS DE CORROSION
ACELEADA DE PROBETAS EXPUESTAS A LAS 200 HORAS

ÍTEM	FOTOS	ÍTEM	FOTOS
1		2	
3		4	
5		6	

TABLA 8

PRESENTACION EN SECUENCIA DE FOTOS DE CORROSION ACELEADA DE PROBETAS EXPUESTAS A LAS 400 HORAS

ÍTEM	FOTOS	ÍTEM	FOTOS
1		2	
3		4	
5		6	

2.4 Evaluación de las técnicas de protección

TABLA 9

MEDICIONES DE PESOS AL INICIO Y FINAL DEL ENSAYO

Muestra	Descripción	Peso Original en gramos	Peso Final en gramos
1	Testigo	124.6 gr	123.7gr
2	Primer	125.8 gr	124.9gr
3	Galvanizador en frío	132 gr	131.8gr
4	Acero Inox.	128.9	128.9gr
5	Pintura de aluminio	135.9 gr	135.8gr
6	Pintura de aluminio de larga duración	134.9 gr	134.9gr

TABLA 10

MEDICIONES DE ESPEORES AL INICIO Y FINAL DEL ENSAYO

Muestra	Descripción	Espesor Inicial en miles	Espesor Final en miles
1	Testigo	4.1/4.4/4.4	3.9/3.7/3.2
2	Primer	5.6/5.5/5.8	4.7/4.5/4.4
3	Galvanizador en frío	7.5/8.4/8.5	5.8/6.2/6.4
4	Acero Inox.	7.7/8.1/8.7	7.1/7.5/8.0
5	Pintura de aluminio	6.9/6.4/6.9	6.8/6.2/6.7
6	Pintura de aluminio de larga duración	7.8/8.2/8.4	7.7/8.0/8.2

Las diferentes protecciones que se aplicaron a las probetas de acero con las que se ingresaron a la cámara de niebla salina fueron:

Convertidor de Óxido.- Es un compuesto convertidor y neutralizador de óxido, detiene la corrosión, produce una película negra, puede servir como un primer y sobre él pintar con cualquier otra pintura, no inflamable.

Características:

Tiempo de reacción rápida.

Excelente para tratar oxidación por manchas

Se puede pintar después de haber sido aplicado.

La aplicación final, una vez seca, provee una capa de acabado negra. Se puede aplicar sobre el transformador una vez curado, aproximadamente luego de seis horas.

TABLA 11
ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL CONVERTIDOR DE
OXIDO

Apariencia y Color	Líquido oscuro
Flash Point	176°F
Inflamabilidad	No Inflamable
Gravedad específica	0.913
Clasificación NFPA-30B	Nivel1, aerosol
Cubrimiento	1.5 m ² (1 aerosol de 16 onz.)

Galvanizador en Frío.- Brinda una película con un contenido de zinc de 95% de pureza, proporcionando un recubrimiento protector sobre superficies metálicas a la intemperie, es de color gris, espesor de película de 2.0 mils, secado al tacto alrededor de 40 minutos, es necesario tomar precauciones necesarias debido a la inflamabilidad del producto, además provee una película que resiste al ataque de sustancias contaminantes y previene la corrosión debido a que forma un fuerte enlace covalente entre zinc y la superficie metálica.

TABLA 12
ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL GALVANIZADOR EN
FRIO

Color	Gris
Olor	Característico dulce
Composición	Zinc, Capolymer
Patrón de rocío	Fino uniforme
Cobertura aproximada	1.5 a 2m ² (1 aerosol de 16 onz.)
Velocidad de flujo	1 gr/seg
Espesor de película	1.5 mils
Tiempo de secado al tacto	20 a 30 minutos
Tiempo de repintado	Después de 12 horas de secado
Resistencia a la abrasión	Muy buena

Acero Inoxidable líquido.- Es una resina epóxica con partículas en suspensión puras de acero inoxidable 316 que lo hacen altamente

resistente al ataque químico, a ambientes fuertes y a la abrasión y corrosión. Produce un recubrimiento metalizado resistente a altas temperaturas pudiendo soportar hasta 480°C. , su color es gris plata.

TABLA 13

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ACERO INOXIDABLE
LÍQUIDO**

Apariencia y color	Gris plata
Flash point	42°F
Flamabilidad	Extremadamente flamable
Gravedad específica	1100
Propelente	Gas de petróleo liquificado
NFPA Resistencia al fuego	Nivel 3 aerosol

Anticorrosivo de acabado de aluminio .- Es superior a los recubrimientos inorgánicos convencionales, porque la resistencia ha sido incrementada reemplazando los pigmentos y óxidos metálicos por inhibidores de corrosión orgánicos más efectivos, es térmicamente estable de -40°C a 200°C, el recubrimiento posee una excelente resistencia contra los rayos ultravioleta, esto le da una característica óptima para las aplicaciones a la intemperie inclusive

en ambientes severos, sin que se produzca grietas o picaduras, aún bajo prolongadas exposiciones a la luz solar, es de base acuosa. A 1.5 mils de espesor rinde alrededor de 30m².

TABLA 14

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ANTICORROSIVO DE ACABADO DE ALUMINIO

Contenido de sólidos	35.42%
Punto de ignición	No
Densidad	8.6
Viscosidad brookfield (cps)	4.000
VOC	230gr/l
Tiempo de secado al tacto	2 horas
Intervalo de repintado	4 horas
Tiempo de curado	24 horas
Rendimiento @ 3mils (75 micras)	17 m ² /gal
Térmicamente estable	-40 a 200°C

Anticorrosivo especial de larga durabilidad.- Es un recubrimiento de uretano, contiene inhibidores de corrosión en fase de Vapor, que depositan una película mono-molecular , protegiendo inclusive las superficies expuestas a futuros ataques de corrosión debido a golpes o ralladuras del revestimiento., posee una elevada resistencia mecánica y

alta adherencia al revestimiento, forma un recubrimiento duro pero a la vez flexible, es un líquido viscoso de color aluminio.

TABLA 15

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ANTICORROSIVO
ESPECIAL DE LARGA DURABILIDAD**

Apariencia	Líquido viscoso de color aluminio
Tiempo de secado	4 horas @ 24°C
Maximo tiempo para segunda aplicación	2 semanas después de la aplicación
Tiempo de secado al tacto	1 hora @ 24°C
Tiempo de curado	1 semana @ 24°C
Tipo de film	Duro
Punto de flash	25°C
Contenido no volátiles	67-72% por peso, 60-62% por volumen
Tiempo de vida útil	Hasta 25 años
Rendimiento teórico	45,43m ² /gal@1
Viscosidad	500-1.000 cps a 6 rpm
VOC	2,8 lb/gal
Densidad	9.2-9.7 lb/gal
Coeficiente de fricción	0.2.
Adhesión	5B
Dureza de film	4H-7H
Resistencia a la temperatura	-78 a 150°C

CAPITULO 3

3. EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DEL PROBLEMA

Antes de entrar a evaluar técnica y económicamente a las pinturas que se usaron para estos ensayos sería bueno recordar que pintura es un elemento que resulta de la mezcla de un pigmento, que es el que le proporciona el color, y un aglutinante (que puede ser un aceite no saturado o secante) que es el medio fluido. En cuanto a la composición química de la pintura nos dice que el aglutinante que es éster formado por la reacción de un ácido carboxílico de cadena larga como el ácido

linoléico con un alcohol viscoso como la glicerina. es quien forma el recubrimiento fino adherente mientras que el pigmento es quien actúa como recubrimiento, el disolvente o diluyente se evapora con rapidez una vez extendida la pintura.

Existen diferentes tipos de pinturas como son: las de esmalte, las de temple, las de cemento, las de cal, y las del silicato.

El uso de las pinturas es tan antiguo que se usaban en las creaciones artísticas hacia el milenio 15 a.C.

En la actualidad existe una gama muy amplia de pinturas dependiendo del tipo de aplicación y de necesidad que se quiera satisfacer, así como también una variedad de precios.

3.1 Tiempo estimado de la protección

El tiempo al que estuvieron expuestas las diferentes probetas fueron de 300 horas, con una temperatura entre 35°C y 38°C, con una corrosión acelerada mediante la ayuda de una cámara de niebla salina, se hizo una proyección anual y se pudo calcular una velocidad de corrosión para cada una de las probetas con sus respectivos recubrimientos, obteniéndose como resultado que su

mpy es decir que sus pulgadas por año o mili-pulgadas por año son las que se muestran en el cuadro.

TABLA 16
EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

Muestra	Descripción	Espesor Inicial (mils)	Espesor Final (mils)	Dif. De espesor (mils)	mpy
1	Testigo	4.1/4.4/4.4	3.9/3.7/3.2	0.7	20.44
2	Convertidor de Oxido	5.6/5.5/5.8	4.7/4.5/4.4	1.1	32.12
3	Galvanizador en frío	7.5/8.4/8.5	5.8/6.2/6.4	2	58.4
4	Acero Inoxidable líquido.	7.7/8.1/8.7	7.1/7.5/8.0	0.6	17.54
5	Anticorrosivo de acabado de aluminio	6.9/6.4/6.9	6.8/6.2/6.7	0.2	5.84
6	Anticorrosivo especial de larga durabilidad	7.8/8.2/8.4	7.7/8.0/8.2	0.2	5.84

De acuerdo a los resultados se puede distinguir que el recubrimiento o mejor dicho los recubrimientos con menor velocidad de corrosión

pertenece a las probetas 5 y 6 los cuales están protegidos con anticorrosivos de aluminio.

3.2 Costos involucrados en la aplicación en las torres de distribución

El cuadro que se muestra a continuación indica los precios por galón que tiene cada uno de los productos que se utilizaron para este ensayo.

TABLA 17

**PRECIOS POR GALON DE LOS DIFERENTES
RECUBRIMIENTOS**

MUESTRA	RECUBRIMIENTO	PRECIO POR GALON \$
1	Testigo	
2	Convertidor de Oxido	93.50
3	Galvanizador en Frio	97.50
4	Acero Inoxidable líquido	138.50
5	Anticorrosivo de acabado de aluminio	75.00
6	Anticorrosivo especial de larga durabilidad	115.00

Aquí también vale la pena mencionar el costo que implica la utilización del sandblaster, aunque por ubicación del terreno a veces no es posible hacerlo y para ello se recurre a la limpieza tipo manual la cual es efectuada por el mismo personal de mantenimiento.

El costo de sandblastear varía dependiendo del tipo de equipo tal es así que en el mercado encontramos los de tamaño pequeño cuyo alquiler está alrededor de \$50,00 el día rindiendo el mismo alrededor de 20m², mientras que un equipo grande está en \$6,00 el m² pudiendo hacerse hasta 80m² por día.

De acuerdo a conversaciones sostenida con el personal de mantenimiento, ellos comentan que hacen inspección visual y protección con pinturas dos veces al año, y para ello usan acero inoxidable líquido, y que en ciertos sectores debido al medio donde están ubicadas concretamente las que están más expuestas a ambientes salinos se les coloca un primer el cual es un convertidor de oxido y sobre el pintan con acero inoxidable líquido. En cuanto a costos no se tiene un valor exacto de cuanto van a utilizar para el mantenimiento anual, es por este motivo que solo hacen un aproximado ya que depende también en gran parte de la estación

lluviosa, así como del tipo de perfil del cual están fabricadas ya que existen las galvanizadas en caliente nacional como las japonesas.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones

Después de haber realizado las pruebas de laboratorio de corrosión acelerada en los perfiles de acero galvanizado se llegó a las siguientes conclusiones:

- Es posible la protección de las torres de partes afectadas por la corrosión con pinturas en base de zinc capolymer llamadas también galvanizado en frío.
- Los valores de pérdida de metal en el ensayo de niebla salina son muy bajos con relación a los índices normales para aceros galvanizados.

- La mejor performance en la Cámara de Niebla Salina la tuvieron las pinturas anticorrosivas de aluminio en base acuosa y en base de uretano.
- . Los costos de mantenimiento son extremadamente bajos en relación a los costos de las torres.

4.2 Recomendaciones

El uso de tecnología nueva en pinturas hace posible mejorar la durabilidad del acero galvanizado atacado por la corrosión estacional, por lo que se usan estos productos que como aquí se ha demostrado son de efectividad comprobada.

Además sus costos de mantenimiento son bajos en comparación con los costos de fabricación de las torres.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade, C. Alonso, M.C., y González, J.A., “An initial effort to use the corrosion rate measurements for estimating rebar durability”.
2. Fontana, M. G., “Corrosion engineering” 3^{ra} Ed., (New York, New York, USA: Mc. Graw Hill, 1986)
3. Avila J. y Genescá Llongueras, J. (1986) “Más allá de la herrumbre”. La lucha contra la corrosión, Fondo de Cultura Económica, serie La Ciencia desde México, No. 79.
4. Robert Baboian, Corrosion Tests and Standards, Application and Interpretation, ASTM Manual Series: MNL 20, ASTM Publication Code Number (PCN): 28-020095-27, 1995).
5. Powers, R., Sagues, A., & Murase, T. “Sprayed Zinc Galvanic Anodes for the Cathodic Protection of Reinforce Steel in Concrete.”
6. Materials Performance and Prevention of Deficiencies and Failures, White, Y., Editor, American Society of Civil Engineers, New York, 1992.
7. Annual Books of ASTM Standards, Vol. 02.05 & 06.01, ASTM.

8. Transmisión y Desarrollo, Transelectric S.A., Edición No. 2/Diciembre 2007, Revista.