

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“SISTEMAS DE REPARACIÓN Y/O PROTECCIÓN A
BASE DE COMPOSITES”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO QUÍMICO

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE
CONOCIMIENTOS**

PRESENTADO POR

YURI AGUILAR CORNEJO

LIMA – PERÚ

2003

DEDICATORIA

**A mis Padres por
Su constante apoyo**

*A medida que la experiencia genera información
La ciencia acciona a mayor capacidad.*

Y. A. C.

PRESENTACIÓN

Aunque las pinturas han sido usadas en la protección de estructuras para tiempos prolongados. El concepto es tomado como objetivo de prolongar la vida estructural del material que ha sido usado en dicha estructura.

Para esto el rápido desarrollo de la industria química influyo para crear y usar nuevos sistemas de recubrimientos estructurales a base de los composites. Los cuales han resultado más efectivos en la protección contra el ataque de los diversos ambientes corrosivos.

Por lo que este informe tiene como objetividad dar a conocer el producto composites tanto en el campo de la protección de materiales usados en estructuras, como en la resistencia en tiempos prolongados de trabajo.

La utilización de estos nuevos materiales a base de composites ha necesitado emplear ensayos avanzados, que son abordados en este estudio de los composites como agentes protectores del ataque corrosivo. Y este informe de **Sistemas de Reparación y/o Protección a Base de Composites** tratara.

RESUMEN

El presente informe tiene por finalidad proponer un sistema alternativo en la reconstrucción y protección de superficies metálicas o de concreto haciendo uso de los composites. Los composites no son otra cosa que el resultado de unir un filler o agregado en una matriz de resina, la que da como resultado un nuevo material que resiste tanto ataque químico (ácidos, álcalis, hidrocarburos y otros) como ataque físico (abrasión, erosión, etc.).

Los composites son usados en la actualidad por la industria en general, desde la reconstrucción de piezas pequeñas como ejes metálicos desgastados, volutas de bombas, hasta la reconstrucción y protección de hélices de barcos, revestimiento interno de tanques de almacenamiento de productos líquidos y otros.

En este informe se verán tópicos como composición del composites, su clasificación, uso, beneficios con ahorro de costos y lo principal demostrar que es un método que está desplazando al rellenado por soldadura, el metalizado, el revestimiento por pinturas convencionales, revestimiento con fibra de vidrio, entre otros.

Asimismo, se hará hincapié que este sistema va acorde con las exigencias de protección al operario como al medio ambiente

ÍNDICE

	Pág.
Presentación _____	ix
Resumen _____	xi
I.- Introducción _____	1
II.- Desarrollo de Conceptos y Técnicas _____	2
2.1 Métodos de Control de la Corrosión _____	2
2.2 Métodos de Control _____	4
2.3 Recubrimientos _____	6
III.- Desarrollo del Tema _____	8
3.1 Composites _____	8
3.2 Composición de los Composites _____	8
3.2.1 Matriz _____	9
3.2.2 Refuerzo _____	14
3.3 Clasificación de los Composites _____	15
3.4 Principales usuarios _____	16
3.5 Ventajas, beneficios y limitaciones de los Composites _____	16
3.6 Comparación de los Composites vs. otros tipos de recubrimientos _____	18
3.6.1 Resistencia Química _____	18
3.6.2 Comparación de los Composites vs. Pinturas y recubrimientos base solvente _____	19
3.6.3 Comparación de Costos _____	20
3.7 Aplicación de los Composites _____	20
3.7.1 Preparación de superficies metálicas _____	20
3.7.1.1 Limpieza inicial _____	21
3.7.1.2 Preparación del cordón de soldadura _____	21
3.7.1.3 Arenado _____	21
3.7.2 Preparación de las superficies de Concreto _____	24
3.7.2.1 Limpieza inicial _____	24
3.7.2.2 Decapado ácido _____	24
3.7.2.3 Rellenar hoyos y vacíos _____	25
3.7.2.4 Preparación de superficies para pisos dañados _____	25
3.7.3 Aplicación de los sistemas de revestimiento Duomar _____	26
3.7.3.1 Humedad relativa _____	26
3.7.3.2 Mezclado _____	27
3.7.3.3 Tiempo de trabajo _____	27
3.7.3.4 Aplicación _____	27
3.7.3.5 Espesor de la película (22 °C) _____	28
3.7.3.6 Limpieza _____	28
3.7.4 Sobre revestimientos y tiempo de curado _____	28
3.7.5 Proceso de curado forzado _____	29

3.7.6	Inspección	30
3.7.6.1	Inspección visual	30
3.7.6.2	Espesor de la capa en seco	30
3.7.6.3	prueba de chispa	30
3.7.6.4	Agujeros	31
3.7.6.5	Antes de curado	31
3.8	Salud y Seguridad	31
3.8.1	Incendios	31
3.8.2	Contacto	32
3.8.3	Inhalación	32
3.8.4	Ingestión	32
3.8.5	Derrames y disposición	32
IV.-	Uso de recubrimientos 100% sólidos en programas de extensión de vida de equipos y estructuras I parte	33
4.1	Resumen	33
4.2	Introducción	33
4.3	Resinas, agentes remediadores, rellenos	34
4.3.1	Beneficios de los epoxicos	35
4.3.2	Capacidad de una capa	36
4.3.3	Excelente resistencia química	37
4.3.4	100% Sólidos no tóxicos	37
4.3.5	Muy buena adhesión no requiere imprimante	37
4.3.6	Extrema resistencia a la abrasión	38
4.3.7	Fácil de usar y aplicar	38
4.3.8	Flexibilidad (Duradera)	39
4.4	Aplicación y control de la calidad	39
4.4.1	Preparación de superficie	39
4.4.2	Aplicación	40
4.4.3	Control de calidad	40
4.5	Aplicaciones Típicas	41
4.6	Modos de fallas	45
4.6.1	Sistema epoxico Plastocor Cladding	47
4.7	Uso de recubrimientos 100% sólidos en programas de extensión de vida de equipos y estructuras II parte	49
4.7.1	Resumen	49
4.7.2	Introducción	49
4.7.3	Discusión	50
4.7.4	Procedimiento experimental	52
4.7.5	Resultados Experimentales	54
4.7.6	Procedimientos de reparación	58
4.8	Control y efecto de pared fría	59

4.9	Extensión de vida para los sistemas de agua circulantes y condensadores usando copolímeros epoxy 100% sólidos	61
4.9.1	Resumen	61
4.9.2	Introducción	62
4.9.3	Consideraciones de diseño para los sistemas de agua circulante	64
4.9.4	Renovación del sistema	66
4.9.4.1	Rejillas rotativas del agua	67
4.9.4.2	Túneles de entrada de agua	68
4.9.4.3	Cajas de agua del condensador	69
4.9.4.4	Placas tubulares del condensador	70
4.9.4.5	Torres de enfriamiento	71
4.9.5	Mejor criterio de un recubrimiento	72
V.-	Conclusiones	81
VI.-	Bibliografía	82
VII.-	Glosario	83

CUADROS

Cuadro N°	1	3
Cuadro N°	2	6
Cuadro N°	3	11
Cuadro N°	4	12
Cuadro N°	5	13
Cuadro N°	6	14
Cuadro N°	7	18
Cuadro N°	8	19
Cuadro N°	9	20
Cuadro N°	10	22
Cuadro N°	11	26
Cuadro N°	12	30

FIGURAS

Figura N°	1	2
Figura N°	2	10
Figura N°	3	29
Figura N°	4	44
Figura N°	5	44
Figura N°	6	44
Figura N°	7	44
Figura N°	8	44
Figura N°	9	44
Figura N°	10A	47
Figura N°	10B	47
Figura N°	10C	48
Figura N°	11	60
Figura N°	12	60
Figura N°	13	60
Figura N°	14	66

FOTOS

Foto N°	1A	23
Foto N°	1B	24
Foto N°	2A	73
Foto N°	2B	73
Foto N°	3A	74
Foto N°	3B	74
Foto N°	3C	74
Foto N°	4	75
Foto N°	5A	75
Foto N°	5B	76
Foto N°	5C	76
Foto N°	6	77
Foto N°	7	77
Foto N°	8A	78
Foto N°	8B	78
Foto N°	9A	79
Foto N°	9B	79
Foto N°	10A	80
Foto N°	10B	80

TABLAS

Tabla I	Comparación entre agentes de curados de sistemas epoxicos	53
Tabla II	Diluyentes para sistemas epoxicos	54
Tabla III	Resistencia al acido sulfúrico 93% a 105 ° C	55
Tabla IV	Test de inmersión a acido sulfúrico 93% a 25 ° C	56
Tabla V	Propiedades del HPL 2221 (a 25 ° C	72

I.- INTRODUCCIÓN

Desde 1968 Duromar Inc. ha estado fuertemente ligado con los problemas de erosión, corrosión y control de proceso. La erosión y la corrosión actuando juntos están muchas veces más allá de las capacidades de resistencia de la mayoría de los metales y el concreto. La experiencia directa con estos problemas acoplados con la performance limitada de materiales de protección disponible, animó a Duromar a investigar para nuevas soluciones de ingeniería a través del uso de "innovadores" materiales poliméricos.

Duromar reconoció primero que la clave para resolver estos problemas de erosión y corrosión, sería en la selección y uso de materiales poliméricos 100% sólidos, de VOC cero. Estos nuevos productos, a diferencia, de las capas poliméricas peligrosas o los recubrimientos basados en solventes convencionales, sería seguro de usar para el aplicador y no dañino al medio ambiente.

En estos últimos años, Duromar también se dio cuenta que el desarrollo de los nuevos materiales, los cuales se ejecutarían en el laboratorio, fue solamente parte de la solución. La solución final fue desarrollar nuevos materiales, el cual no solo se ejecutaría en el laboratorio, sino podría también ser fácilmente aplicado en el campo. Los productos que fueron difíciles de aplicar en un medio industrial, y difícil de usar para los técnicos locales o la gente de mantenimiento de plantas, determinaron no solo el desarrollo de nuevos materiales, sino también en el desarrollo de nuevas técnicas de aplicación y equipo.

Esta especialidad de productos poliméricos sirve para reconstruir y proteger piezas y/o equipos en el mantenimiento industrial; sistemas de reparación y embaldosados; revestimiento de alta performance para ambientes corrosivos y abrasivos más severos y adhesivos estructurales.

II.- DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS

2.1.- METODOS DE CONTROL DE LA CORROSIÓN

- Las pilas de corrosión

La homogeneidad de un material metálico es un estado ideal que no se alcanza nunca y las inevitables heterogeneidades, al crear diferencias de potencial electroquímico entre distintas zonas de una misma superficie metálica, facilitan la distribución de ésta en áreas anódicas y catódicas, que serán sedes de las dos semirreacciones que componen el proceso de corrosión (ver figura N° 1). Las posibilidades de génesis de heterogeneidades, de pilas de corrosión, por tanto son múltiples y, en último término, la corrosión es consecuencia de tales heterogeneidades, bien del material metálico, bien del medio, o generadas por la acción de éste sobre aquel.

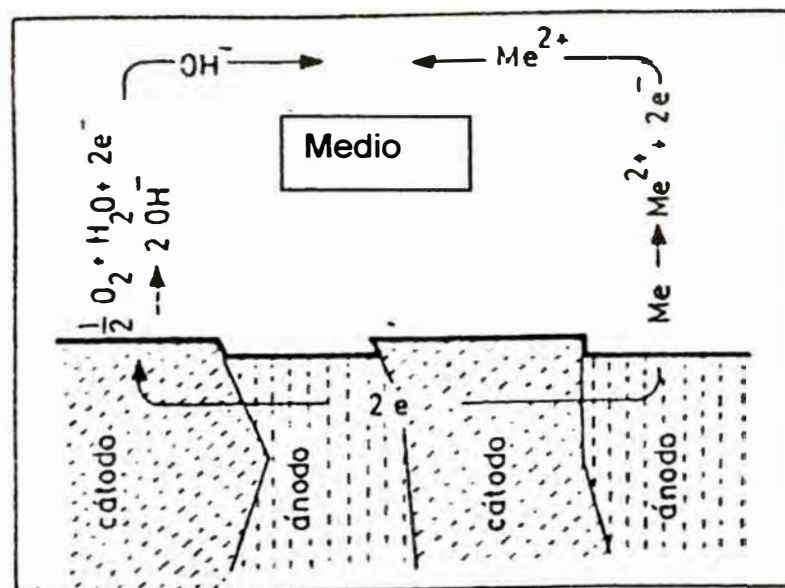


Fig. N° 1. Reacciones que ocurren en una pila típica de corrosión.

En el cuadro N°1 se intenta resumir, sin pretensiones de exhaustividad, los factores dependientes del metal, del medio o de las condiciones de exposición, que desembocan en el establecimiento de las pilas locales de corrosión. Los diversos tratamientos mecánicos, químicos o térmicos introducen el riesgo de acrecentar las heterogeneidades de origen metalúrgico.

CUADRO N°1.- ALGUNAS CAUSAS QUE ORIGINAN FORMACIÓN DE PILAS DE CORROSIÓN

Tipos de heterogeneidades	Ejemplos de pilas locales generadas
Heterogeneidades del metal	<p>De constitución: En aleaciones bifásicas y polifásicas, partículas contaminantes en la superficie, segregaciones, uniones bimetálicas, etc.</p> <p>De estructura: Límites de grano, dislocaciones emergentes, anisotropía de los granos cristalinos.</p> <p>De orden mecánico: Tensiones, conformación, soldadura.</p> <p>De estado superficial: Grado de pulido, rayas, discontinuidades de las capas protectoras.</p>
Heterogeneidades del medio agresivo	<p>Diferencias de concentración de oxígeno: Pilas de Evans o de aireación diferencial.</p> <p>Diferencias de concentración salina, composición o pH.</p>
Heterogeneidades en las condiciones de exposición	<p>Diferencias de temperatura.</p> <p>Diferencias de potencial: Debidas a la actuación de un campo eléctrico externo sobre la estructura metálica.</p>

2.2 METODOS DE CONTROL

Antes de tratar, en forma muy resumida, de los distintos métodos de protección, recuérdese que casi la totalidad de los fenómenos de corrosión son de naturaleza electroquímica y están constituidos por los procesos parciales anódico y catódico.

Para llegar a ordenar en forma sistemática los diferentes sistemas de protección, se puede considerar que la corrosión es un proceso complejo. Donde en el caso más sencillo intervienen una fase reactiva, metálica o no; un medio agresivo sólido, líquido o gaseoso y una interfase en la que transcurre la reacción. En consecuencia, los métodos de protección se pueden clasificar como sigue:

a) Medidas que afectan al metal.

- **Selección de materiales.**

El primer problema a considerar en protección es la correcta elección del material. Una buena elección disminuye los problemas, dado que se establece una relación entre resistencia a la corrosión, precio y resistencia mecánica. Aún en estos casos se suele modificar el material metálico, que mantienen la velocidad de corrosión por debajo de ciertos límites, adicionando una aleación para favorecer la pasivación del material, por ejemplo: la adición de Molibdeno (Mo) a los inoxidable austeníticos sirve para reforzar su resistencia al ataque por picadura.

Ahora no siempre una buena aleación del material garantiza que ya no habrá problema de corrosión que se produzca.

b) Medidas que afectan al medio.

- **Modificaciones del mismo.**

Entre las medidas de protección que afectan al medio, la más empleada es la eliminación del agente agresivo, por ejemplo; O_2 o CO_2 disueltos en el agua, el SO_2 o el HCl de los gases calientes o de los productos de combustión, el agua de los combustibles o disolventes orgánicos, los compuestos de azufre de los crudos petrolíferos, etc. En algunos casos se puede reducir la corrosión disminuyendo la velocidad del fluido o aumentando la resistividad del medio. Naturalmente, la corrosión se reduce, salvo excepciones, al disminuir la temperatura del sistema, tanto si el medio es gas, líquido o sólido. Aunque hay que advertir que, por lo general, no se puede modificar el medio de ataque; en la industria por venir impuesto por el proceso de que se trate y en la naturaleza (atmósfera, agua de mar, terrenos) porque se presenta en cantidades ilimitadas.

c) Medidas que modifican la interfase

Entre los métodos de protección que modifican la interfase hay que citar los que influyen en las reacciones que tienen lugar en el límite de las fases reactantes. Tal es el caso de los procedimientos electroquímicos conocidos por **protección catódica y anódica**, y el de los **inhibidores de corrosión**.

d) Medidas que separan metal y medio (cambian la interfase).

Se considerarán aparte las medidas que tienen por meta la formación de nuevas interfases con propiedades distintas, ya que en realidad cambian el sistema metal / medio agresivo, como es el caso de los recubrimientos metálicos, o de aquellos otros que evitan, total o parcialmente, el contacto entre los dos constituyentes del sistema, como sucede con los recubrimientos orgánicos o con las capas superficiales de conversión.

2.3 RECUBRIMIENTOS

Este método de protección incluye todo tipo de recubrimientos que aíslan, al menos en cierta extensión, el material metálico del medio agresivo. Como en muchos casos el aislamiento no es perfecto, entonces para asegurar la protección de los recubrimientos se le incorporan a estos inhibidores de corrosión; o polvo de zinc para que actúen como ánodo.

En el cuadro N°2 se muestra los tipos de recubrimientos que se utilizan en la industria.

CUADRO N° 2: Tipos de recubrimientos Industriales

Tipos de recubrimiento	Modos de obtención	Campos de aplicación	Observaciones
Metálicos	Inmersión en caliente, proyección, electrodeposición, plating. Cementación: calorizado, sherardizado, cromizado, y siliciurizado	Protección contra la corrosión atmosférica, industria alimentaria, redes de distribución de agua, industria eléctrica, embellecedores, decoración de interiores, recubrimientos refractarios y resistentes a la abrasión.	La continuidad es la característica fundamental de los recubrimientos más nobles que el metal base, que se pica en las discontinuidades: p.e. niquelados o cromados sobre hierro. El espesor y la capacidad de formar capas protectoras son las variables más importantes de los recubrimientos más electronegativos que el metal base, al que protegen catódicamente en las discontinuidades.
Inorgánicos y capas de conversión	Esmaltado, capas de cemento por proyección o centrifugación. Anodizado Fosfatado	Aplicaciones decorativas, señales de tráfico, paneles de arquitectura, recubrimientos de tanques, baños y equipos domésticos, depósitos y conducciones de agua. Las capas de conversión,	Los esmaltes vítreos suelen ser frágiles y difíciles de reparar, resistentes a casi todos los reactivos excepto fluorhídrico, deben ser continuos, sin defectos superficiales. Los recubrimientos de cemento son baratos y con un coeficiente

	Cromatado	salvo el anodizado de las aleaciones de Al, se suelen emplear sólo como protección temporal o base para pinturas.	de expansión próximo al de acero.
Orgánicos	Pinturas, lacas, barnices, grasas, aceites, brea, alquitrán, betún. Aplicación a brocha, a pistola, por electroforesis, etc.	Aunque la aplicación más extendida es contra la corrosión atmosférica, el número de sistemas y calidades es tan enorme, que existen sistemas adecuados para proteger metales sumergidos en muchos medios naturales e industriales.	Pueden proteger por simple separación del medio o combinar este comportamiento con otros mecanismos, como la inhibición o la protección catódica.

También habría que recordar que en la lucha contra la corrosión, se recurre también con frecuencia a otro tipo de recubrimientos de alto espesor como:

- Sistemas de pintura en capa gruesa.
- Recubrimientos plásticos.
- Recubrimientos bituminosos.
- Cintas adhesivas.
- Recubrimientos de hormigón.
- Sistemas de revestimientos poliméricos o composites.

III.- DESARROLLO DEL TEMA

3.1 COMPOSITES

Son materiales con dos o más componentes (refuerzos o rellenos en forma de fibra, **partículas**, telas o cerdas aglomeradas en una matriz de resina) que combinados producen características superiores a aquellas que poseen sus constituyentes en su forma individual.

3.2 COMPOSICIÓN DE LOS COMPOSITES

Los composites están conformados por dos elementos en fase separada pero que se comporta como una sola. Las fases son la matriz y el refuerzo, como se indica en el esquema.

COMPOSITES

SUSTANCIA CONFORMADA POR ELEMENTOS EN UNA FASE DISPERSA

MATRIZ

+

REFUERZO

**RESINA EPOXICA + ENDURECEDOR
ALEACIÓN**

CERAMICOS O POLVO DE

*RESISTENCIA QUÍMICA

*RESISTENCIA CORROSIÓN

*FLEXIBILIDAD

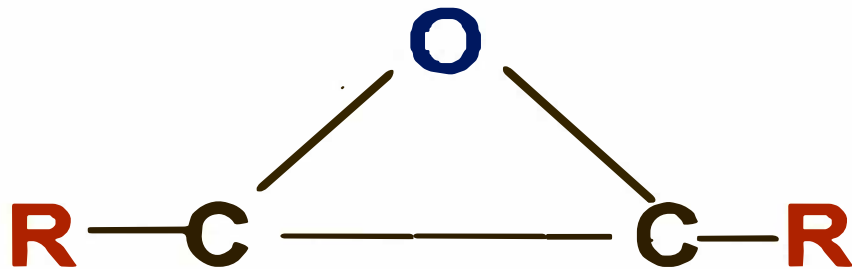
*RESISTENCIA ABRASIÓN

3.2.1 Matriz

Conformada por la resina y el agente de curado responsable de la solidificación del sistema. La matriz confiere al sistema sus características de resistencia química, flexibilidad y temperatura.

La característica del composite depende del tipo de resina, siendo la más simple la del tipo epóxica en su forma base, la cual se observa a continuación.

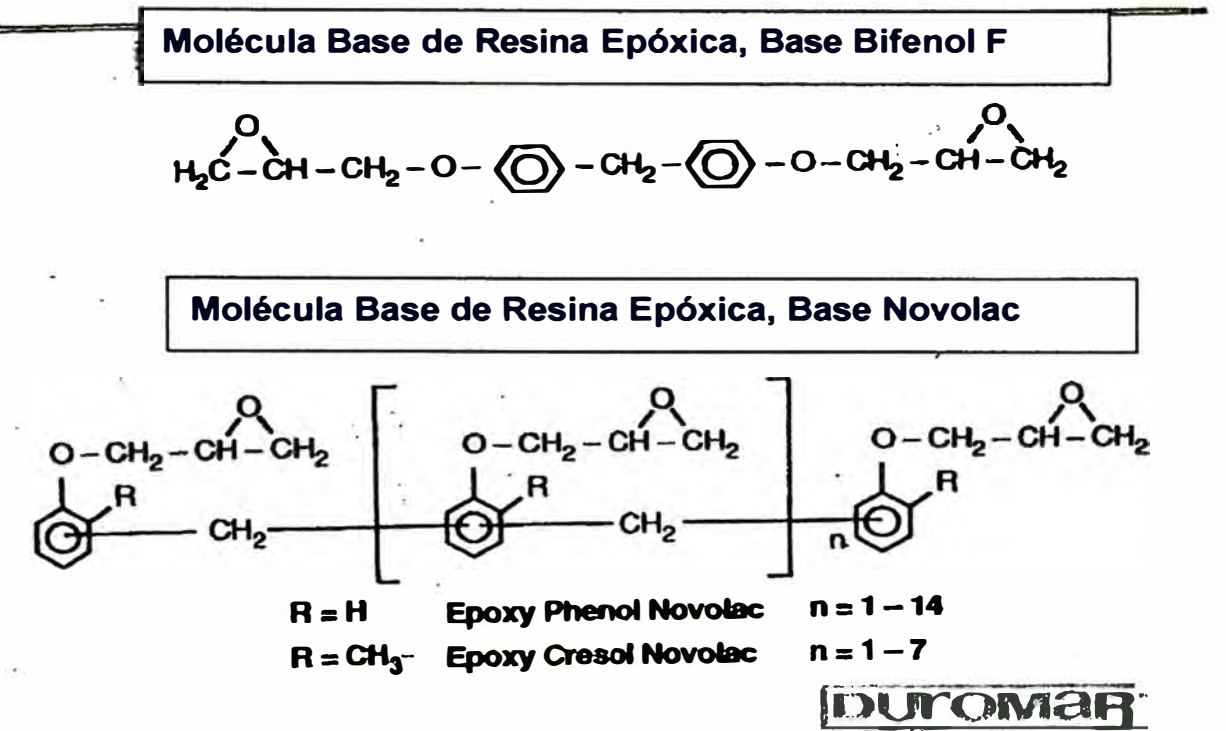
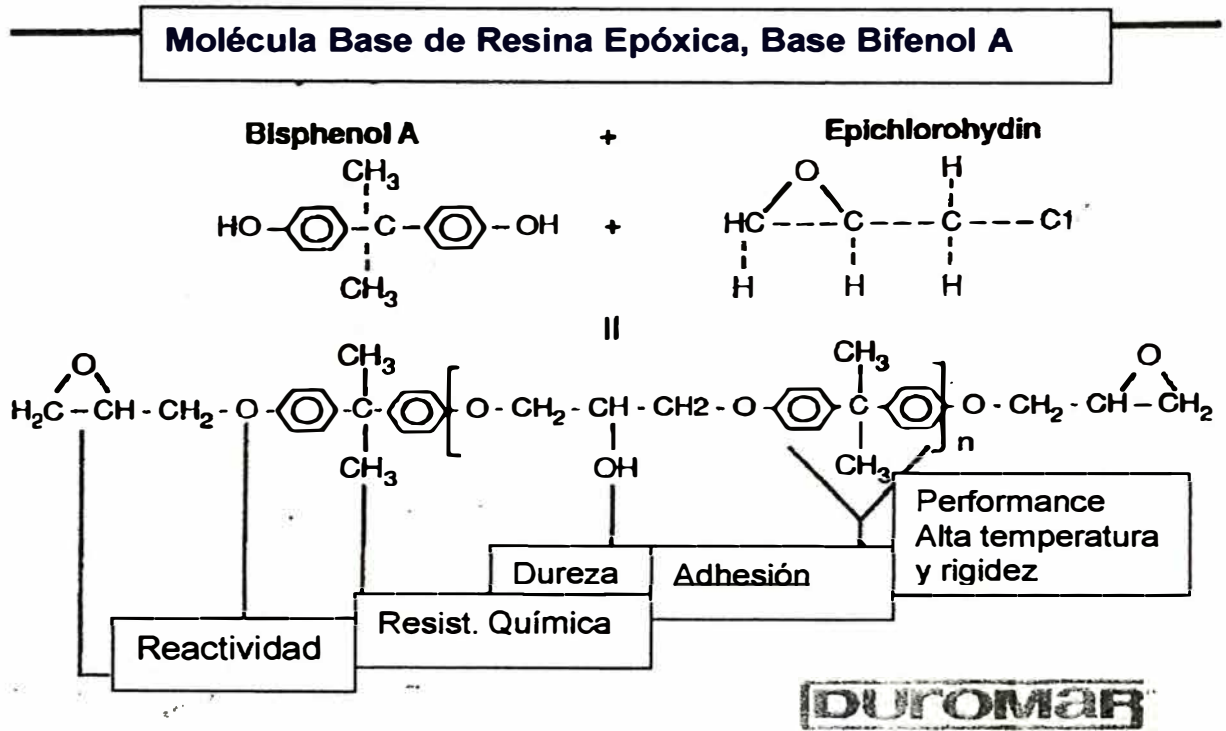
MOLECULA EPOXICA BASE



DONDE : **O** = MOLECULA DE OXIGENO
 C = MOLECULA DE CARBONO
 R = CUALQUIER GRUPO RADICAL

Hoy en día se disponen de resinas epóxicas mejoradas, como el caso de las fenólicas y recientemente las del tipo Novólacas, como se indican en los esquemas siguientes, respectivamente. (Ver Fig. N° 2 Pág. Sigte.)

Fig. N° 2.- Resinas Epoxicas Mejoradas



Las diferencias entre estos tipos de resinas se ven sintetizadas en el siguiente cuadro N° 3:

CUADRO N° 3: Efectos producidos según la base de la resina.

Parámetros	Bis fenol A	Bis fenol F	NOVOLAC
pH TOLERANCIA	INCREMENTO		→
TEMPERATURA	INCREMENTO		→
FLEXIBILIDAD DE LA PELÍCULA	DECRECIMIENTO		←
VISCOSIDAD	INCREMENTO		→
ADHESIÓN	DECRECIMIENTO		←
ABRASIÓN	DEPENDE DEL TIPO DE RELLENO		

Agentes de curado

Si bien es cierto que la resina determina el nivel de resistencia química, flexibilidad y temperatura del composite, esto no sería posible si no se elige el agente de curado apropiado. En el siguiente cuadro No 4 (Ver Pág. sigte.) se muestra los diferentes tipos de agente de curado más usados:

CUADRO N° 4.- Agentes de curado comunes para epóxicos.

TIPO	DESCRIPCIÓN
Poliamidas	Endurecedor más común de los epoxis. Caracterizado por relaciones de mezcla no muy precisa y tiempo de trabajo largos. Poseen moderada resistencia química y a la temperatura.
Aminas Alifáticas	Relación de mezcla exacta. Poseen buena resistencia química y a la temperatura. Tiempos de trabajo cortos.
Amidoaminas	Similar a las Poliaminas.
Aminas Ciclo alifáticas	Excelente resistencia química. Tiempos cortos de trabajo. Poseen temperatura de curado alrededor de 65° F.
Aminas	Sobresaliente resistencia química. Tiempo de trabajo largo.
Aromáticas	Requiere temperatura elevada de curado para mejorar su performance. Puede tener problemas de salud.
Polisulfidos	Excelente flexibilidad, requiere catalizador y posee olores fuertes.
Polimercaptanos	Curado rápido, fuerte olor, y problemas con la piel.
Anhídridos	Excelente resistencia química, temperatura y eléctrica. Requiere elevadas temperatura de curado el endurecedor.

Sin embargo la conformación del composite depende en la compatibilidad entre resina, endurecedor y el material de refuerzo así como la humectabilidad entre ellos. A continuación se muestra en el siguiente cuadro No 5 las combinaciones más usuales:

CUADRO N° 5: Formulaciones de epóxicos modificados

BASE RESINA	ENDURECEDOR	REFUERZO
BISFENOL A	POLIAMIDAS Más comunes. Resistencia moderada a los químicos y Temp. Tiempo de trabajo largo	BLANDA Talco Silica
BISFENOL F	AMINAS ALIFATICAS Buena resistencia a químicos y temperatura. Tiempo de trabajo cortó. AMIDO AMINAS Mejores propiedades	MEDIO Arena Acero Inox.
NOVOLAC (EPOXI FENOLICA)	AMINAS CICLOALIFATICAS Excelente resistencia a la temperatura y químicos. Tiempos cortos de trabajo AMINAS AROMATICAS Mejores resistencias a la Temperatura y químicos. Tiempo de trabajo largo	DURO Silicón carbide Al ₂ O ₃

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPOSITES

Hay varias formas de clasificar a los composites, a continuación se indican algunas de ellas:

Por el Material de Refuerzo:

- **Maquinables:** Son aquellos que pueden ser rectificadas con herramientas convencionales, como el torno, fresadora, esmeril, etc. Su material de refuerzo son partículas de acero inoxidable o esferas de vidrio. Esta clase de compuestos son utilizados para control de sistemas corrosivos no abrasivos. El espesor mínimo de aplicación es de 1.5 mm.
- **No maquinables:** Los composites no maquinables se utilizan en sistemas de alta abrasión, el refuerzo está constituido de polvo, partículas o perlas de cerámica.

Por su Consistencia:

- **Líquidos:** Reforzados con polvo de cerámica, aplicables con brocha, rodillo o sistema de rociado.
- **Semi pastosos:** Reforzados con polvo y partículas de cerámica o aleación, aplicables con espátula.
- **Muy pastosos:** Reforzados con partículas, perlas y pepas de cerámica, aplicables con espátula.

3.4 PRINCIPALES USUARIOS

- Refinerías de Petróleo
- Industrias mineras
- Industrias del cemento
- Plantas de Tratamiento de Agua
- Industrias papeleras
- Industrias siderúrgicas
- Empresas marinas
- Industrias químicas
- Industrias textiles.

3.5 VENTAJAS, BENEFICIOS Y LIMITACIONES DE LOS COMPOSITES

Ventajas

- Alta adherencia.
- 100% sólidos, libre de compuestos volátiles orgánicos. (V.O.C.)
- Impermeables.
- Proceso de curado por reacción química.
- Compatibilidad térmica con el sustrato.
- Resistencia Química.
- Alta resistencia a la abrasión.
- Resiste a los rayos UV.
- No encogen.
- Excelentes propiedades físicas.
- Resiste altas temperaturas.
- No inflamables.
- No tóxico.
- Ecológico.

Beneficios

- Reducción en la frecuencia de mantenimiento.
- Disminución de pérdida de producción por paradas no programadas causadas por: ataque químico y abrasión.
- Disminución del tiempo de parada del equipo durante la reparación.
- Puede repararse en cualquier momento sin necesidad de cambiar todo el recubrimiento.
- Su gran adherencia evita la corrosión debajo de la película.
- Es lo suficientemente flexible para evitar el desprendimiento.
- Fácil de mantener y aplicar.
- Reducción de costos en operaciones de mantenimiento.

Limitaciones

- No es aplicable para sistemas que trabajan a elevadas temperaturas.
- Aplicación a espesores menores a lo recomendado en la hoja técnica de cada producto, carecen de resistencia mecánica.
- El calor generado en operaciones de soldadura en metales protegidos con composites pueden carbonizar el recubrimiento.
- Necesitan un arenado hasta obtener una superficie metálica con apariencia blanca-grisáceo uniforme debido a la eliminación total del óxido y rugosidad adecuada.
- No resisten fuertes impactos.
- Necesitan un tiempo de curado para alcanzar sus resistencias químicas y físicas.
- No puede restituir la fuerza estructural del metal por ser un producto de superficie.

3.6 COMPARACIÓN DE LOS COMPOSITES VS OTROS TIPOS DE RECUBRIMIENTOS

3.6.1 Resistencia Química

En el cuadro N° 7 mostraremos la performance de los recubrimientos Duromar frente a otros.

CUADRO N° 7: Performance en líneas de materiales típicos.

----- RESISTENCIA A: -----				
Tipo	Adhesión	Álcalis	Ácidos	Solventes
DUROMAR				
Epoxica	Excelente	Excelente	Reg.-Muy Buena	Reg.-Muy Buena
Epoxi Novolac	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
POLIESTER	Regular	Pobre	Reg.-Muy Buena	Regular-Buena
Vinil Ester	Regular	Buena	Buena	Buena-Excelente
Novolac Vinil E.	Regular	Buena	Buena	Excelente
Uretanos	Buena	Regular- Buena	Pobre-Regular	Regular
Fenolicos *	Regular- Buena	Buena	Excelente	Regular

*** Requiere elevadas temperaturas de curado (230 °C)**

Fuente: Manual Técnico de recubrimientos poliméricos.

3.6.2 Comparación de los Composites vs. Pinturas y recubrimientos base solvente

En el cuadro N° 8 veremos algunas características de los recubrimientos Duromar frente a los recubrimientos convencionales.

CUADRO N° 8: Tipos de productos Epóxicos.

CARACTERISTICAS	PINTURA	BASE SOLVENTE	100% SÓLIDOS
Contenido de epoxi	Bajo	Medio- alto	Alto
Contenido de sólidos	Bajo (3-60)%	Medio (50-90)%	100%
Tipo de solvente	Agua /orgánico	Orgánico	No solventes
Principales componentes	Solvente	Epoxi , solvente	Epoxi, refuerzo
Espesor de capa (mils)	2-4 mils	4-15 mils	Hasta 500
Resistencia química	Pobre – regular	Regular excelente	Buena – excelente
Resistencia a la abrasión	Pobre	Pobre - regular	Buena - excelente

Fuente: Manual Técnico de recubrimientos poliméricos.

3.6.3 Comparación de costos

En el cuadro N° 9 se indica una comparación de costos de los composites Duromar frente a otros recubrimientos convencionales.

CUADRO N° 9: Duromar Vs. Otros Sistemas

DUROMAR VS.	DUROMAR Costo Material	DUROMAR Costo Aplicación
VINIL ESTER	igual	menor
URETANO	igual	menor
FIBRA DE VIDRIO	mayor	menor
CAUCHO	menor	mucho menor

Fuente: Manual Técnico de recubrimientos poliméricos.

3.7 APLICACIÓN DE LOS COMPOSITES

3.7.1 PREPARACIÓN DE SUPERFICIES METÁLICAS

Un resultado óptimo sólo puede ser alcanzado mediante la apropiada preparación de la superficie. El siguiente procedimiento esquematiza los pasos necesarios para conseguir la superficie adecuada para la aplicación de los recubrimientos poliméricos y composites:

- Limpieza Inicial.
- Preparación del cordón de soldadura.
- Arenado.

3.7.1.1 Limpieza inicial

Las grasas y lubricantes deberán ser removidos de la superficie antes del arenado, utilizando para este propósito fosfato trisódico o un solvente como la acetona, 1, 1,1-tricloretoano o MEK.

3.7.1.2 Preparación del cordón de soldadura

Emparejar los cordones de soldadura y todos los bordes irregulares a un radio mínimo de 1/8" aprox. Y remover la escoria.

Delaminaciones, hoyos, costras, etc., deben ser removidos o recubiertos con un relleno.

3.7.1.3 Arenado

Con el arenado se consigue un acabado blanco metálico de acuerdo con los estándares SSPC-SP-5-63 o NACE TM-01-70 N°1, con un perfil mínimo de 3 mils. La dureza relativa del sustrato y la presión actual del pitón son factores muy importantes a la hora de seleccionar el tipo y tamaño correcto del abrasivo (Ver cuadro N° 10 Pág. siguiente). El abrasivo no debe contener cloruro y debe dejar la superficie arenada, libre de sustancias extrañas. Los requerimientos de presión para obtener mejores resultados son los siguientes: 100 PSI (7 Kg/cm²) presión de pitón mínima. Siendo la recomendada de 110 PSI (7.733 Kg/cm²) presión de pitón.

Abrasivos Naturales

Nombre del Abrasivo	Tipo Genérico	Forma Usual	Dureza Y Escala	Densidad Vol. Wt/Cuft	Contenido Libre Sílica	Factor Polvo	Tamaño Part. Disp.	Factor Reuso	Disponibilidad.
Arena Sílica	SÍLICA	IRREG/RED	5 - 6 Moh	100	90 + %	Alto	6 - 270	Pobre	Bueno
Arena Mineral	ÓXIDO	IRREGUL.	7 Moh	128	-5 %	Moderado	55 - 90	Regular	Limitado
Granalla Industrial	ÓXIDO	SUB - ANG.	7 - 8 Moh	130 - 147	-1 %	Moderado	8 - 300	Regular	Limitado
Piedra	SÍLICA	ANGULAR	6,5 - 7 Moh	70 - 94	90 + %	Moderado	6 - 300	Regular	Limitado

Por Productos Abrasivos

Escoria Mineral	ESCORIA	ANGULAR	7 Moh	80 - 90	Ninguno	Moderado	10 - 100	Regular	Bueno
Escoria Cobre/Níquel	ESCORIA	ANGULAR	7 - 7,5 Moh	84 - 95	-1 %	Moderado	8 - 80	Regular	Limitado
Conchas Duras	VEGETAL	SUB - ANG.	3 - 3,5 Moh	42 - 47	Ninguno	Bajo	6 - 100	Bueno	Limitado
Mazorca De Maíz	VEGETAL	ANGULAR	4,5 Moh	28 - 32	Ninguno	Bajo	10 - 40	Bueno	Limitado

Abrasivos Fabricados

Óxido De Aluminio	ÓXIDO	IRREGUL.	8 Moh	120	Ninguno	Bajo	6 - 600	Bueno	Bueno
Carburo De Silicio	CARBURO	ANGULAR	9 Moh	100 - 110	Ninguno	Bajo	6 - 600	Bueno	Bueno
Perlas De Vidrio	SÍLICA	ESFÉRICA	5 - 6 Moh	100	60 - %	Bajo	20 - 325	Bueno	Bueno
Arena Plástica	POLI.-URET.	ANGULAR	3 - 4 Moh	58 - 60	Ninguno	Bajo	12 - 80	Bueno	Bueno
Hierro Enfr./Ar. Acero	METÁLICA	ANGULAR	40 - 68 RC	250	Ninguno	Muy Bajo	18 - 200	Alto	Bueno
Hierro Enfr./Ar. Perdigón De Acero	METÁLICA	ESFÉRICA	40 - 68 RC	250	Ninguno	Muy Bajo	7 - 200	Alto	Bueno

El aire usado para el arenado también debe estar libre de contaminantes, como pueden serlo el agua y el aceite. Los equipos de aire deben estar previstos con filtros de agua y aceite.

La arena también debe estar libre de contaminantes. Esto puede ser verificado poniendo una muestra representativa de 1 Kg. aprox. en un balde con 20 litros aprox. de agua limpia. Nada de aceite u otros contaminantes excepto el polvo de arena, debe ser visible en la superficie del agua. La arena no deberá ser reciclada bajo ninguna circunstancia.



Foto N° 1A.- Sistema de arenado.

Un sistema de arenado típico (**ver foto 1A**) usaría una tubería de 2 pulg. de diámetro interno desde el compresor (secador enfriador) al silo de arena; y una manguera de 1 - 2 pulg. Desde el silo al pitón. Puede ser necesario variar el diámetro interno de la manguera en aquellas muy largas para mantener la presión requerida en la boquilla. Boquillas N° 7 (7mm.) y N° 8 (8mm.) son los recomendados para el arenado (**Ver foto 1B** Pág. sigte).

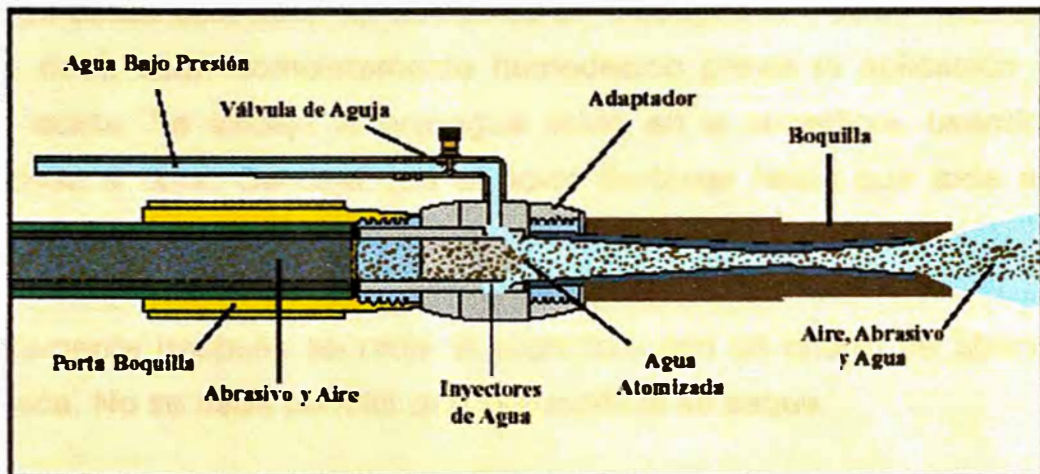


Foto N° 1B. Sistema de la boquilla.

La temperatura superficial debe ser mantenida a un mínimo de 18°C para operaciones normales y un mínimo de 3°C sobre el punto de condensación durante el arenado y la aplicación. No se debe arenar si la humedad relativa excede al 90%. Si la temperatura es menor de 18°C, requieren la aplicación de procedimientos especiales.

3.7.2 PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE CONCRETO

3.7.2.1 Limpieza inicial

Se debe remover la grasa y/o cualquier otro lubricante antes de comenzar con la preparación de la superficie. El concreto debe estar curado completamente por 28 días como mínimo y debe contener una humedad máxima de 10%.

3.7.2.2 Decapado ácido

Las superficies de concreto pueden ser preparadas por medio de agua ácida a presión o cepillado en baja presión. En cada caso la capa de lechada superficial debe ser removida. Huecos a la vista, fisuras o paneles en el concreto deben ser abiertos antes de revestir.

Cuando se utiliza este sistema, se realiza un enjuague con ácido muriático. El concreto debe estar completamente humedecido previa la aplicación de la solución ácida. Se trabaja el enjuague ácido en la superficie, usando una brocha tiesa o dura. Se deja que el ácido burbujee hasta que toda acción desaparezca.

Inmediatamente después se moja la superficie con un chorro de abundante agua fresca. No se debe permitir que la superficie se seque.

Se debe barrer cualquier residuo de la superficie y así asegurar de que no exista ningún residuo de contaminación usando papel de tornasol.

El pH final debe estar entre 7-9 al secarse la superficie totalmente.

3.7.2.3 Rellenar hoyos y vacíos

Todos los huecos o irregularidades superficiales deben quedar emparejados usando un revestimiento o recubrimiento de alto espesor. No se debe revestir el concreto cuando éste se encuentre directamente expuesto a la luz solar.

3.7.2.4 Preparación de superficies para pisos dañados

Los pisos dañados deben ser lavados con agua a alta presión para remover todo el concreto desconchado. Continuar esta operación hasta que el concreto sólido esté expuesto.

Donde hay anclajes o refuerzos expuestos, éstos deben ser tratados como sustrato metálico y arenados a un estándar SSPC-5-63. Una vez que el concreto sólido está expuesto, un enjuague neutralizador se debe usar para alcanzar un pH neutro.

3.7.3 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REVESTIMIENTO DUROMAR

3.7.3.1 Humedad relativa

Los revestimientos DUROMAR deben ser aplicados en la superficie arenada dentro de los períodos que se indican en el cuadro No 11, al menos que las condiciones ambientales sean controladas.

CUADRO N° 11.- Período de aplicación de los revestimientos Duromar

Humedad Relativa %	Tiempo Máximo desde el arenado, h
+ 90	No aplicar
90	1
85	2
80	4
70	10
60	16
50 y menor	25

Este cuadro indica cuanto tiempo se dispone para revestir el sustrato a cierta humedad relativa.

En ningún caso la superficie lavada debe presentar rastros de herrumbre. Si esta apareciera deberá ser removida por medio de cepillo metálico.

3.7.3.2 Mezclado

Los sistemas de revestido DUROMAR están divididos en dos partes que se despachan en contenedores de acuerdo a la mezcla requerida.

El contenido completo del contenedor endurecedor (parte A), debe ser mezclado dentro del contenido completo del contenedor base (parte B). Para cantidades menores que la unidad, se consulta las especificaciones del producto en la hoja de datos correspondiente.

Se debe mezclar completamente, asegurándose de raspar las paredes interiores y el fondo del contenedor con un utensilio largo de tal manera que las dos partes A y B queden completamente mezcladas.

Pueden ser usados mezcladores de mano, neumáticos o eléctricos.

La temperatura del material mezclado debe ser de por lo menos 21°C para facilitar la aplicación.

3.7.3.3 Tiempo de trabajo

El tiempo de trabajo de los materiales dependen de la temperatura y cantidad del material. El tiempo de trabajo también puede ser extendido dividiendo la masa del material después de ser mezclado.

3.7.3.4 Aplicación

Los revestimientos DUROMAR gruesos (más de 40 mils/capa) deben ser aplicados con brocha tiesa, rodillo o con un sistema de compresión a pistola. Se debe tener cuidado especial para asegurar un secado completo del sustrato. La aplicación manual debe ser firme para evitar burbujas en la interfase de la superficie. Se debe monitorear el grosor de la película mojada cada 10 pies².

3.7.3.5 Espesor de la película (22°C)

Como guía general, los revestimientos de capa delgada son aplicados en dos manos hasta alcanzar un espesor de película en seco de 25-35 mils. Los revestimientos de capa gruesa son aplicados de 1 a 2 manos hasta un espesor en seco de 40 a 80 mils.

3.7.3.6 Limpieza

Todas las herramientas de mezclado y aplicación deben ser limpiadas inmediatamente. Cualquier residuo puede ser removido con un solvente como 1, 1,1-tricloroetano, MEK o una mezcla apropiada. Los derrames pequeños de material sin cura pueden ser limpiados con un paño pegajoso (rag), cantidades mayores pueden ser puestas en contenedores y ser incineradas.

3.7.4 SOBREPUESTOS Y TIEMPO DE CURADO

Dos capas pueden ser necesarias para aplicaciones de alto espesor. Si la segunda capa es aplicada antes que la primera esté completamente curada, no es necesaria la preparación de la superficie; simplemente se aplica la segunda capa, con los espesores indicados.

Si por el contrario, la primera capa ya ha excedido el tiempo de curado, la superficie deberá ser preparada con cepillo metálico, manteniendo los mismos estándares descritos anteriormente.

3.7.5 PROCESO DE CURADO FORZADO

El curado forzado puede ser usado para ampliar la resistencia química del recubrimiento, o bien para poder utilizar el revestimiento antes de siete días.

Los revestimientos deben estar ya firmes antes de iniciar el curado forzado.

En la figura 3 se muestran las temperaturas a las cuales se realiza el curado forzado, así como el tiempo requerido.

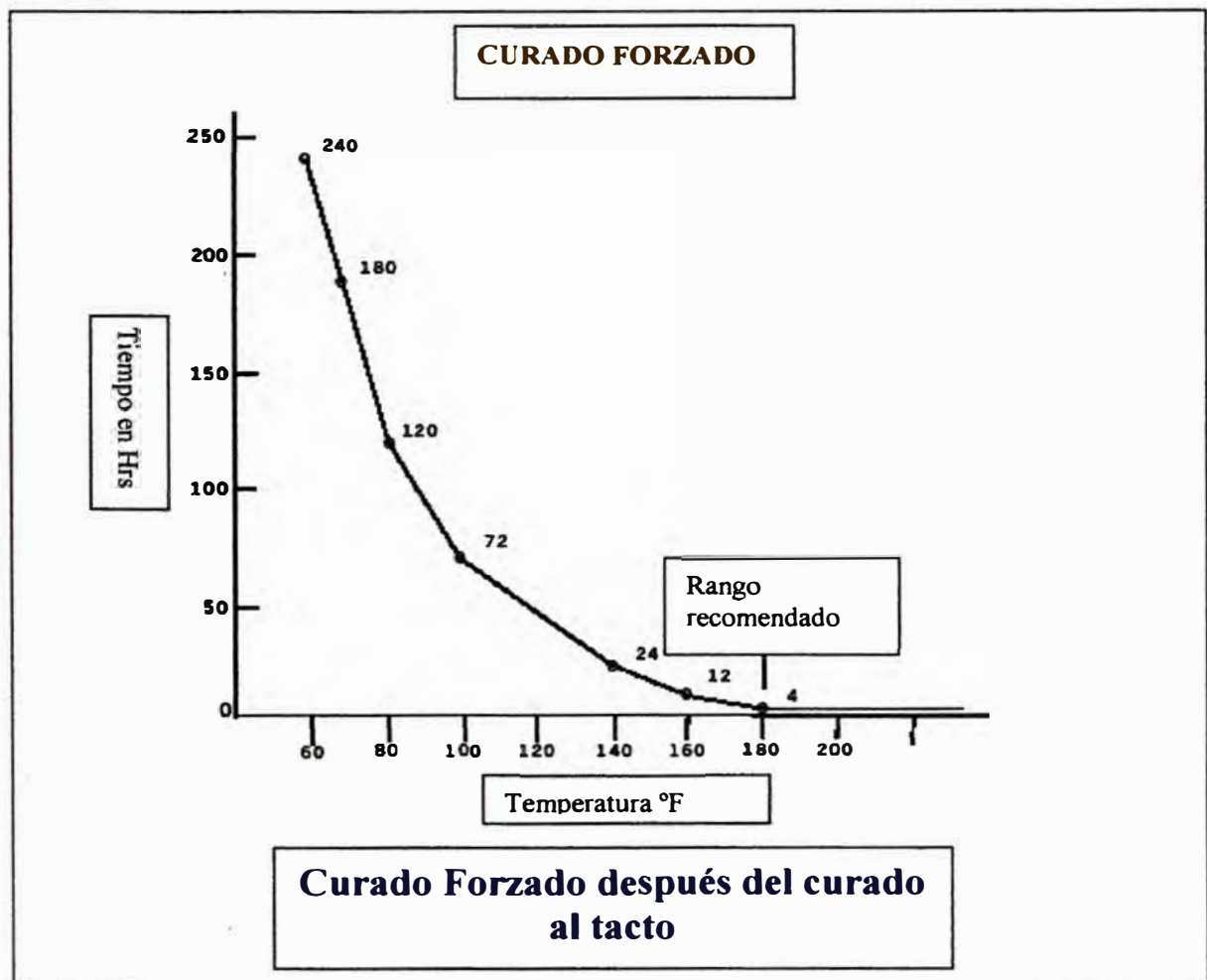


Fig. 3: Curado forzado en función de la temperatura y el tiempo.

3.7.6 INSPECCIÓN

3.7.6.1 Inspección visual

Consiste en inspeccionar el revestimiento visualmente en busca de imperfecciones, ejemplo: burbujas, superficies pasadas por alto y cualquier otro defecto que indique deficiencias en el recubrimiento. Se debe usar una iluminación adecuada para asegurar que todos los defectos hayan sido encontrados.

3.7.6.2 Espesor de la capa en seco

Los espesores del revestimiento de la capa en seco deben ser chequeados para asegurar que el debido espesor haya sido obtenido. Las áreas con un espesor menor al requerido deberán ser reparadas.

3.7.6.3 Prueba de la chispa

Un modelo espía 9DC o equivalente con 15000 v. de capacidad puede ser usado para la búsqueda de agujeros en los recubrimientos a 100 volts/mils. A continuación mostraremos el cuadro N° 12 referencial a la cual se hace esta prueba.

CUADRO N° 12 Referencial de pruebas

Espesor	Capacidad en volts
30 mils	3000 V
60 mils	6000 V
120 mils	12000 V

Todas las imperfecciones deberán ser marcadas con tiza o marcador, para su posterior reparación.

3.7.6.4 Agujeros

Si el revestimiento ya está curado, el área que rodea el imperfecto debe ser rasquetada por medio de arenado o molienda. Todos los agujeros deben ser rasquetados hasta llegar al metal, embadurnando 1/8 " fuera del agujero. Después de esto, se debe limpiar el área con un trapo limpio con acetona u otro solvente no polar. Luego de que el solvente se haya evaporado, se debe reaplicar el producto seleccionando solo en el área que ha sido rasquetada. Se debe asegurar de que el espesor de la reparación sea el mismo que el de la capa ya existente. Los bordes deben ser limados para eliminar los cambios abruptos en la superficie del revestimiento.

3.7.6.5 Antes de curado

Si el revestimiento todavía no ha alcanzado el espesor especificado y no se ha contaminado el área, las reparaciones deberían ser efectuadas con facilidad.

3.8 SALUD Y SEGURIDAD

Los contratistas y el personal operativo deben leer y entender completamente las hojas de seguridad o "Material Safety Data Sheet" (MSDS) antes de comenzar el revestido.

3.8.1 Incendios

En el caso de incendio donde se encuentre un producto de revestimiento DUROMAR, el fuego deberá ser extinguido por medio de polvo seco, espuma o con extinguidores de fuego de dióxido de carbono. Los bomberos deberán usar equipos respiratorios.

3.8.2 Contacto

El contacto con la piel u ojos debe evitarse evitado por personas con piel particularmente sensitiva puesto que pueden ser afectados y contactos repetidos pueden conducir a contraer dermatitis. Las normas de seguridad recomiendan el uso de ropa protectora.

Si ocurre un contacto accidental o inevitable con la piel, el material deberá ser limpiado inmediatamente del área afectada y ésta debe ser lavada con agua y jabón. Si ocurre un contacto accidental con los ojos inmediatamente se debe lavar continuamente con agua fresca en abundante cantidad durante 15 minutos. Si la irritación continúa busque atención médica.

3.8.3 Inhalación

Los composites son productos libres de material volátil. Sin embargo, es recomendable que éstos tengan siempre una ventilación adecuada y evitar la inhalación inoportuna de los mismos.

3.8.4 Ingestión

Es poco probable la ingestión de composites, pero si esto sucediera se debe buscar inmediatamente atención médica.

3.8.5 Derrames y disposición

Si ocurrieran derrames, los productos DUROMAR deben ser recuperados siempre que sea posible.

IV.- USO DE RECUBRIMIENTOS 100% SÓLIDOS EN PROGRAMAS DE EXTENSIÓN DE VIDA DE EQUIPOS Y ESTRUCTURAS I PARTE

4.1 Resumen

Las resinas epóxicas desarrolladas permiten la formulación de sistemas de recubrimiento de extremada resistencia química y resistencia a la abrasión. Estos productos 100% sólidos, utilizan varios rellenos y endurecedores para dar un amplio rango de performance en ambientes ácidos y cáusticos, secos y líquidos.

Esta parte del trabajo describe las cinco mayores áreas de un proyecto de recubrimiento y sus efectos en términos de fiabilidad, modos de fracaso y técnicas de reparación usando epóxicos 100% sólidos en pequeños y grandes proyectos de una planta de fuerza.

Un producto especial formulado "plastacor" fue usado para eliminar los problemas de erosión y corrosión en una planta de fuerza, con resultados halagadores.

4.2 INTRODUCCIÓN

Aunque las pinturas han sido usadas para proteger estructuras bellas por miles de años, el concepto de "prolongar la vida" realmente se inicio en la segunda guerra mundial. La necesidad de preservar las estructuras existentes como barcos con una mínima utilización de mano de obra , originó el desarrollo y uso de muchos sistemas protectores. Luego de la guerra, el rápido desarrollo de la industria química creo un nuevo y único sistema de recubrimiento con epóxicos siendo introducidos alrededor de 1950.

Anteriormente los sistemas epóxicos fueron de carbón alquitrán o rellenos con materiales de baja viscosidad.

Estos fueron aplicados en películas relativamente delgadas de 10-20 mils de espesor seco (DFT). Alrededor del año 1970 los sistemas 100% sólidos (0% solventes) fueron introducidos. Esto permitió construir películas gruesas y usarlas para reconstruir y reparar equipos mecánicos.

En la década pasada, significantes avances en la química de las resinas epóxicas, y el mejor entendimiento de la interacción entre las resinas epóxicas, rellenos y agentes remediadores (endurecedores) han permitido desarrollar productos 100% sólidos, resistentes a altas temperaturas (hasta 302 °C) y de baja viscosidad. Estos ofrecen muchas ventajas como performance y la eliminación del potencial ambiental y lo concerniente a salud. Actuales avances en resinas orgánicas, endurecedores y sistemas de relleno muestran la promesa de resistencia a altas temperaturas, ataque químico y de abrasión en ambos medios: secos y líquidos (ácidos y cáusticos).

4.3 RESINAS, AGENTES REMEDIADORES, RELLENOS.

Muchos sistemas industriales de grado epóxico se basan en el producto de la reacción del bisfenol A y Epichlorohydrin. Esto da un sistema epóxico con ambos grupos reactivos epóxico e hidroxilo. En la última década Química Dow ha desarrollado y perfeccionado su sistema de resinas epóxicas novolac D.E.N* la cual combina en una molécula la estabilidad térmica de una base fenólica con la reactividad y versatilidad de una resina epóxica. Estos productos tienen solo grupos reactivos epóxicos en la molécula y tienen más de estos que la epóxica base bisfenol A.

El mayor número de grupos epóxicos, da un producto de mayor resistencia química y temperatura. Sin embargo, el mayor número de grupos epóxicos origina un producto de alta viscosidad requiriendo el uso de aditivos químicos y calentamiento durante su aplicación uso para llevar la viscosidad a un rango aceptable.

Los agentes de curado son usualmente aminas cicloalifáticas, alifáticas o aromáticas, así como poliamidas, cuya selección también determina algunas de las propiedades químicas y físicas del sistema final.

Modificadores y rellenos son elegidos para dar al producto final flexibilidad, resistencia a la abrasión y mayor tolerancia a la temperatura. Todos los modificadores y rellenos son seleccionados para tratar de asegurar la humectabilidad del sistema de resinas. También la forma (esférica, cristalina, escama) y el tamaño de las partículas de relleno es importante para la performance. Típicos rellenos incluyen: talco, mica, acero, sílica, óxido de aluminio y carburo de silicio tanto como los pigmentos para dar colores distintivos a cada producto.

4.3.1 Beneficios de los epoxicos

Los epóxicos brindan los beneficios que se indican:

- A) Capacidad de una capa
- B) Excelente resistencia química
- C) 100% sólido, no toxico
- D) Muy buena adhesión – no requiere imprimante
- E) Extrema resistencia a la abrasión
- F) Fácil de usar y aplicar
- G) Flexibilidad

4.3.2 Capacidad de una capa

Sistemas de recubrimiento epoxico 100% sólidos pueden ser usados en películas gruesas (60-80 mils) y películas delgadas (15-30 mils) los cuales se pueden aplicar en "una capa". Esto elimina un amplio número de problemas.

Primero, no se requiere imprimante (primer). Un imprimante es generalmente usado cuando las capas superiores no tienen una buena adhesión a los sustratos. Puesto que muchos epóxicos tienen excelentes propiedades adhesivas los imprimantes no son requeridos.

Segundo, ningún problema de fallas en los límites puede ocurrir, porque no se tienen límites entre capas. Estos problemas entre capas pueden estar relacionados al sistema químico, tal como evaporación de solventes, rápido endurecimiento entre capas, y error de aplicación.

Tercero, corrosión por picaduras, cualquier picadura no rellenada dejaría áreas donde la humedad puede acumularse causando resquebrajamiento y fallas.

Cuarto, las reparaciones son fáciles, solo se requiere un material, sin tener que esperar por el solvente o el secado entre capas.

Quinto, el sistema de una capa tiene un costo efectivo de solo 1/3 a 1/5 de labor y tiempo de aplicación e inspección requerida.

4.3.3 Excelente Resistencia Química

En general, para resistencia química, se aplica una “película delgada” de producto, entre 25 a 45 mils. Para resistencia a la abrasión y a altas temperaturas se aplica una “película gruesa” de relleno pesado de entre 60 a 80 mils.

Una variedad de familia de productos debería estar diseñada para medios químicos suaves y/o de ataque abrasivo, así como para medios hostiles y la asistencia técnica necesaria para recomendar la solución a un “costo efectivo”. Por ejemplo para medios químicos suaves, deberían estar disponibles productos para rangos de pH entre 2 – 12; y para medios hostiles, productos que son estables a rangos de pH entre 0.5 – 13 y resistentes a altas temperaturas de 122 a 260 °C (medios secos); y (66 a 122) °C (medios húmedos). Los materiales epóxicos también seleccionan a los rellenos resistentes a la abrasión como acero inoxidable, sílica, aluminio y carburo de silicio de varios tamaños de partícula.

4.3.4 100 % Sólidos; no tóxicos

Es importante tener en cuenta la presencia o ausencia de solventes en los sistemas de recubrimiento, verificando que el producto este completamente libre de solvente. Libre de solvente significa no problemas con la salud o inflamabilidad durante su aplicación y eliminación.

4.3.5 Muy buena adhesión – no requiere imprimante

Los epóxicos, en general ofrecen excelente adhesión para superficies apropiadamente preparadas. Pruebas demuestran que esta adhesión es más fuerte que el epóxico y este podría romperse antes de desadherirse. Debido a esta fuerte adhesión, los sistemas epóxicos pueden ser aplicados directamente sin requerir un imprimante. Los imprimantes son “puntos frágiles” en muchos sistemas de recubrimiento y pueden interferir en picaduras y otras reparaciones, esta es una importante consideración.

4.3.6 Extrema Resistencia a la Abrasión

La resistencia a la abrasión depende de tres (03) características. Primero, los epóxicos son más suaves que los sustratos y permiten la disipación de la energía de impacto en una gran área. Segundo, el relleno es seleccionado para ser más duro que el material de abrasión. Es necesario prevenir la rayadura y erosión del relleno dejando el epóxico expuesto. Tercero, el relleno puede ser más largo (grande) que el material abrasivo.

Si el material abrasivo es mucho más grande que el tamaño de las partículas de relleno, entonces la energía de impacto puede desalojar las pequeñas partículas de relleno dejando expuesto el aglutinante epóxico suave.

4.3.7 Fácil de usar y aplicar

El empaque (unidad, tamaño), información de aplicación, selección del color, disponibilidad de productos y soporte técnico son parte del sistema "usuario amigable".

Generalmente están disponibles unidades de 1 a 4 Kg. para pequeños trabajos, para áreas grandes se disponen de galones. Resinas y endurecedores están provistos en las correctas proporciones (B/A) para no pesar o medir si la unidad completa es usada. También para asegurar la mezcla completa, la resina y el endurecedor son proporcionados en diferentes colores. La mezcla es completa cuando un rasgo (raya, veta, línea, marca) no puede ser detectada. La información completa de preparación y aplicación en superficie está empacada en cada container con accesorios de mezcla y aplicación.

La disponibilidad de color es a veces supervisada, pero esta puede ser una importante consideración, cuando se está aplicando más de una capa de producto. Cuando se aplican dos colores alternados se hace más fácil encontrar errores cuando se aplica la segunda y tercera capa.

4.3.8 Flexibilidad (duradera)

Los recubrimientos epóxicos formulados apropiadamente pueden adherirse a sustratos con diferentes coeficientes de expansión. Esto se debe a la flexibilidad de los sistemas epóxicos permitiendo moverse con el sustrato sin quebrarse o romperse. Puesto que muchas fallas se inician desde una superficie, que permite al ambiente (humedad) penetrar al sustrato, esto puede evitarse con un sistema flexible duradero.

4.4 APLICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

4.4.1 Preparación de superficie

La adhesión del sustrato epóxico, es mecánico no químico. Sin embargo la superficie puede estar limpia, seca, libre de polvo y tener un perfil de superficie de 2 a 4 mils.

Muchos métodos como decapado ácido, rectificado neumático con pistola de pintar y limpieza por chorro de arena seco o mojado, han sido usados para obtener el correcto perfil de superficie. De todas estas técnicas, la limpieza por chorro de arena es el método usual elegido. El perfil de superficie resultante depende de la selección de granalla, presión de aire y el inyector. El equipo de limpieza por chorro de arena puede ser revisado para asegurar una operación libre de aceite y libre de agua. Si existe alguna duda la superficie puede ser lavada con un solvente libre de residuo antes de recubrirlo. Para grandes áreas el punto de rocío del agua puede ser controlado usando deshumidificación o calentamiento del sustrato a menos 3 °C sobre el punto de rocío.

Es necesario prevenir la oxidación y asegurar que el sustrato este libre de películas de humedad que puedan causar problemas de adhesión.

4.4.2 Aplicación

Productos de películas delgadas pueden ser aplicadas en spray o brocha a bajas viscosidades que permitan fluir en el perfil de la superficie.

Sin embargo, las picaduras (corrosión), soldaduras o bordes deberán ser rellenados o cubiertos con una película gruesa antes de aplicar el recubrimiento de la película delgada. Esto asegura la completa cobertura sin aire ocluido (aprisionado) o bordes bruscos. El recubrimiento de película gruesa está destinado en la superficie para llenar cualquier picadura antes de aplicar el recubrimiento final.

4.4.3 Control de calidad

Las lecturas de perfil de superficie en trabajos grandes deben hacerse al menos cada 10 pies² de superficie y las lecturas registrarse para futuros usos. Las medidas de espesor de película húmeda también deberían hacerse al menos cada 10 pies² y ser registradas. Luego de que el recubrimiento ha endurecido, una prueba de descarga disruptiva¹ debería realizarse para detectar agujeros, huecos, intersticio.

Se necesitan 100 voltios por mils de espesor de recubrimiento y todas las áreas a ser reparadas deben ser marcadas, registradas, y reparadas de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes. La limpieza y disposición debe hacerse aplicando todos los códigos ambientales.

4.5 APLICACIONES TÍPICAS

En general, la selección apropiada y la aplicación de sistemas epóxicos 100% sólidos pueden tener un efecto significativo en el control de los costos de reemplazo de equipos tanto en tiempo como dinero en áreas ambientales “hostiles”.

A continuación se indican muchas de las áreas en plantas de fuerza donde los sistemas epóxicos 100% sólidos han sido usados. En todos los casos, el conocimiento del sistema y las condiciones de operación son necesarias para seleccionar el mejor “costo efectivo” del producto para su aplicación.

I Almacenamiento y procesamiento del combustible

Sistemas de transporte-líneas de transporte.

Tanques de almacenamiento (petróleo) – silos.

Pulverizadores-ventilador de gases de escape.

II Sistemas de agua de enfriamiento

Bombas de agua, válvulas.

Conductos de escape radioactivos (túnel)

Tuberías, cajas de agua.

III Sistemas desmineralizadores

Ácidos, bases y tanques de agua.

Desareadores & concentradores de salmuera.

Pedestales, pisos

IV Boilers (áreas generalmente demasiado calientes para epóxicos)

V Equipos de colección de partículas

Esp, ciclones, ventiladores fd & id

VI Sistemas de desulfuración de gas combustible

Conductos de entrada & ventiladores.

Absorbedores & tanques de reacción.

Conductos de salida.

Conductos de derivación, recalentadores/zonas de mezclado.

VII Mantenimiento de plantas

Bombas & reparación de válvulas.

Reparación de gas.

En el lado del carbón de las calderas, el mayor problema es la abrasión, como el medio corrosivo es leve, basto con la resistencia genérica del epóxico a muchos ácidos y bases. La base del sistema epóxico necesita de rellenos para resistir a la abrasión, siendo usualmente sílica o aluminio (partículas de gran tamaño). La tolerancia a la temperatura debería ser considerada si el sistema epóxico es usado en líneas de transporte de carbón pulverizado.

En el lado de "fly ash" del boiler el sistema epóxico elegido debe tener mayor resistencia a la abrasión y resistencia química. El Fly ash es bastante abrasivo y cada pequeña cantidad a velocidades determinadas podría ocasionar severos problemas. Los gases de combustión son una mezcla química de todas las sustancias volátiles y polvos del combustible: sulfuros, nitrógeno y óxidos de carbón, cloruros, fluoruros, ceniza (fly ash) hollín, con componentes solubles pueden formar depósitos corrosivos cuando el punto de rocío ácido se alcanza o existe humedad (como en sistemas FGD) en los ductos de trabajo. En estos los productos deben ser sometidos a evaluación.

En el sistema de enfriamiento del agua, los epoxis no solamente son escogidos para la resistencia química y abrasión apacible (arena, cieno) sino también que ellos deben tener un acabado liso duro cuando se curó. Esta suavidad inhibe la adhesión de crecimiento orgánico y hace quitar cualquier sedimento fácilmente. Los revestimientos de la capa tubular y el tubo de abajo serán discutidos más adelante.

Las áreas dentro y alrededor del cuarto desmineralizador pueden estar sujetos a la corrosión ácida y la corrosión cáustica severa. En estos casos los productos escogidos deben resistir el goteo del H_2SO_4 al 98% sobre la capa. Donde los pisos han sido atacados, los concretos epoxis pueden ser usados para reperfilear el área antes de la capa superior con el producto resistente al ácido. En grandes áreas, dos o tres capas diferentes pueden ser aplicadas para dar un mayor resultado efectivo de costo.

En el Taller de Mantenimiento de la Planta, el uso de epoxis puede ahorrar tiempo tanto en la reparación inicial como el mantenimiento subsiguiente de las partes falladas, y con el ahorro de costos al no tener que reemplazar el equipo estropeado.

En general para pequeñas áreas, los epoxis son mezclados de acuerdo a las directivas de los fabricantes y aplicados a mano usando una brocha de pintura, un rodillo, escoba de goma o una paleta dependiendo del tipo de producto aplicado. Las figuras 4 & 5 y 6 & 7 (Ver Pág. Sigte) muestran aplicaciones típicas de productos de película delgada y gruesa. Estos procedimientos pueden ser usados en el Taller de Mantenimiento o en el campo siempre y cuando la superficie este preparada en forma apropiada. Las bombas, impulsores, el concreto reparado, etc., son todos factibles de reparar con estas técnicas.

Para grandes áreas tales como tanques, ductos, pisos, etc, los sistemas de rociado o una combinación de aplicación manual y las técnicas de rociados son usados. La figura 8 (Ver Pág. Sigte) muestra una aplicación típica de rociado de película delgada en una sección grande de dickwork FGK.

La figura 9 muestra el sistema de película delgada para aplicar 80 mils de revestimiento de tanque en una sola vez.



Figura 4.- Película delgada

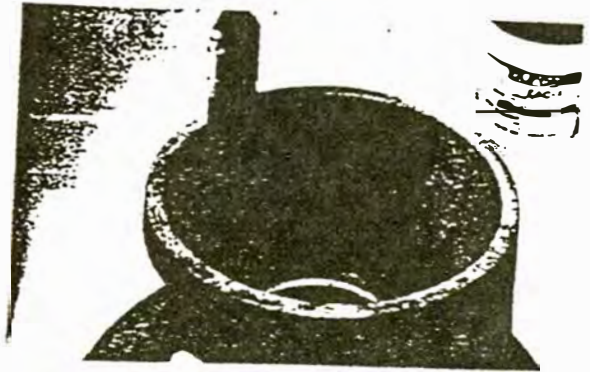


Figura 5.- Aplicación de Película



Figura 6.- Materiales de película gruesa



Figura7.- Aplicando película gruesa

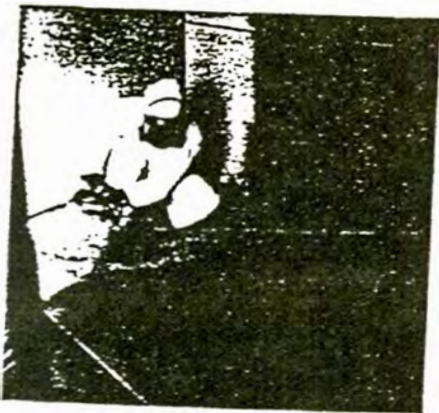


Figura 8.- Aplicación en spray



Figura 9.-Aplicación con espátula

4.6 MODOS DE FALLAS

Los modos de fallas más comunes en recubrimientos epóxicos son:

- 1) Ataque químico
- 2) Abrasión
- 3) Fallas de adhesión
- 4) Fallas cohesivas
- 5) Corrosión bajo recubrimiento

- **Ataque químico**

La falla más común es el ataque químico directo, que se reconoce por las “ampollas” que se forman en el recubrimiento generalmente en áreas donde ocurre condensación.

Las principales causas para que esto ocurra son: producto mal seleccionado, las condiciones cambiaron o el producto original no fue el mejor disponible cuando se hizo la selección. Algunas veces esto puede ser corregido recubriendo con un producto más resistente químicamente. Para casos severos el producto será removido y se aplicará un nuevo material (recubrimiento).

- **Abrasión**

En situaciones abrasivas el epóxico será visto como un recubrimiento de sacrificio, que durará tanto o más que el material a ser protegido. El principal beneficio de los recubrimientos resistentes a la abrasión, es que son menos costosos que las partes del metal que se están protegiendo y que son mucho más fácilmente reparables, añadiendo simplemente más material. Para seleccionar el producto para un material abrasivo en particular se deben tener presentes los conceptos discutidos en “selección de producto”.

- **Adhesión**

En este caso el lazo (adhesión) entre el recubrimiento y el sustrato falla y el recubrimiento se separa del sustrato. Este es fácilmente identificado examinando el recubrimiento “que ha fallado”. La zona con falla puede ser limpiada de depósitos de corrosión (incrustaciones) y en muchos casos se puede mantener el perfil de superficie original del sustrato. La falla entre recubrimientos es un ejemplo de falla adhesiva donde el problema de adhesión se produce entre recubrimientos más que entre recubrimiento y sustrato. En ambos casos el remedio es la total remoción del recubrimiento y el reemplazo con otro de mejor adhesión.

- **Cohesión**

En la falla cohesiva el material se fractura dentro de sí mismo y deja una porción del recubrimiento sobre la superficie del sustrato mientras que el recubrimiento es destruido. En sistemas multi-capas, una o más de las capas pueden fallar de esta manera. Esto es diferente de la falla entre capas en que las superficies resultantes son rugosas y no reflejan el sustrato. En muchos de estos casos el recubrimiento remanente puede ser “arenado” (limpieza mecánica) para limpiar y reperfilear la superficie y luego recubrir con un producto más resistente. Si la falla ha expuesto demasiado sustrato, la única alternativa es su completo reemplazo.

- **Corrosión bajo recubrimiento**

En este caso el recubrimiento tiene buena performance, pero el ambiente corrosivo llega de alguna manera al sustrato y la corrosión resultante socava el recubrimiento. Esta falla es identificada por las incrustaciones (depósitos) debajo del recubrimiento. Las causas son las rajaduras de superficie y huecos. Sin embargo, desde que la velocidad de corrosión en el sustrato es generalmente baja, estos pueden ser reparados y se pueden evitar serios problemas. Los puntos que no son identificados no son reparados pero pueden ser inspeccionados y mantener por un período largo la performance.

4.6.1 SISTEMA EPÓXICO PLASTOCOR CLADDING

El sistema "plastocor cladding" fue desarrollado en Europa hace 25 años, específicamente para restauración de tuberías, sellos y protección (Ver figuras 10A, 10B, 10C). Ha sido formulado para aplicaciones en superficies típicas como en condensadores de vapor en las estaciones de generación eléctrica. Aquí, cientos de tubos metálicos y sellos (juntas) son vulnerables al ataque corrosivo debido en parte a la electrólisis entre metales distintos. La erosión puede también contribuir a este proceso produciendo el debilitamiento de puntos de soldadura, y el agua condensada puede ser contaminada poniendo en riesgo la producción y los equipos.

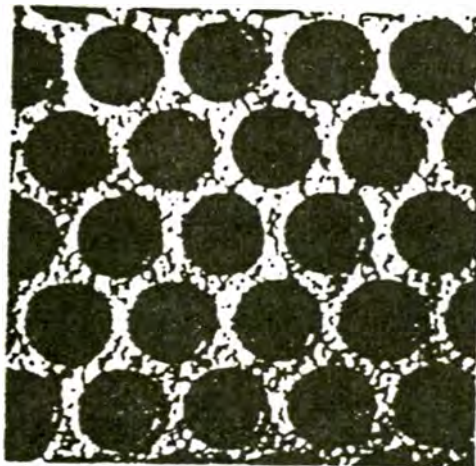


Figura 10 A.- Tubos corroídos.

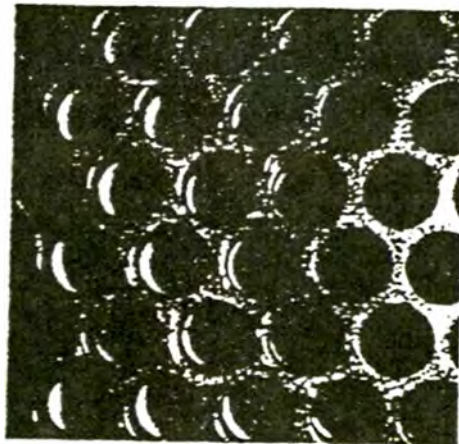


Fig. 10B Tuberías con sistema plastocor

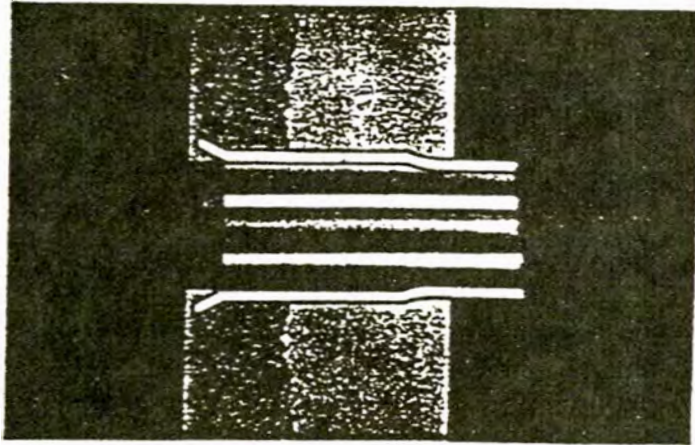


Figura 10 C.

La densidad de la tubería y las irregularidades causadas por la destrucción del metal hacen delicado la aplicación del revestimiento. Una tubería de condensador típica puede tener sobre $\frac{1}{2}$ mils de junta lineal la cual puede ser perfectamente protegida. No se debe tolerar ni la más mínima delgada abertura (agujero) por la intensidad del ataque que puede ocurrir. El recubrimiento puede resistir la erosión, corrosión e impacto físico por largo tiempo. La experiencia ha demostrado que los recubrimientos delgados de tuberías (40 mils) están sujetos a daño mecánico, por turbulencia y deterioro del substrato debido en mayor grado si por la impregnación de agua. Consecuentemente, el sistema "plastocor cladding" fue desarrollado para encapsular completamente las tuberías con un epóxico de entre 180 a 250 mils de espesor. En caso de corrosión severa se puede aplicar un recubrimiento de 800 mils o más. El sistema "plastocor cladding" puede usarse con mucha efectividad para proteger tuberías eliminando la necesidad de aleaciones costosas. En consecuencia se pueden recubrir eliminando o reduciendo la necesidad de protección catódica.

Donde el daño por erosión/corrosión del tubo de entrada está presente o anticipado, los mismos terminales del tubo pueden ser revestidos en el campo usando el método de tres capas de "Plastocor". Si ocurren fugas en la parte interior del tubo, este puede ser pintado en capas (revestido) a través de su longitud total. Este es un nuevo proceso desarrollado en Italia y está siendo ofrecido recientemente en el mercado de Estados Unidos.

4.7 USO DE RECUBRIMIENTOS 100% SÓLIDOS EN PROGRAMAS DE EXTENSIÓN DE VIDA DE EQUIPOS Y ESTRUCTURAS II PARTE

4.7.1 Resumen

A continuación se describen el desarrollo y características de un nuevo y único sistema de recubrimiento 100% sólido, cero VOC, fenol epoxy no volátil (EPN). Aunque la aplicación de epóxicos no volátiles para la manufactura de recubrimientos resistentes químicamente está establecido, muchos sistemas requieren el uso de solventes o disolventes para reducir la viscosidad de la resina base (base) para hacerlo más versátil y aplicarlo como recubrimientos comerciales. Este proceso ocasiona la reducción de sus propiedades químicas o produce un sistema denso con problemas ambientales y de seguridad. El nuevo sistema de recubrimiento de epóxicos no volátiles mantiene su resistencia química y de temperatura permitiendo su aplicación con brocha, rodillos o equipos en spray convencionales. Este material fue introducido para pruebas y de uso comercial limitado en el año 1993. Una de las primeras aplicaciones fue la de restaurar, reparar y proteger el Hospital Hadaza en Jerusalén. La aplicación y su historia se describe a continuación.

4.7.2 INTRODUCCIÓN

El sistema de resinas epóxicas tienen su aplicación en la manufactura de algunas de las variedades de recubrimientos comerciales disponibles y productos relacionados. Con la selección apropiada del tipo de resina de base epóxica, el agente remediador, modificador y rellenos apropiados; un amplio rango de sistemas de recubrimientos pueden ser desarrollados. En general las resinas epóxicas tiene gran demanda cuando se necesita firmeza, temperatura y resistencia química. El uso del bisfenol A, recientemente bisfenol F y fenolepoxi no volátil para la producción de recubrimientos resistentes químicamente está bien establecido.

Los enlaces químicos de estos sistemas pueden ser perfeccionados por la selección de una amplia variedad de materiales diferentes. Los más comunes son: aminas alifáticas, poliamidas, amino-aminas, aminas ciclo-alifáticas y recientemente aminas aromáticas. En el pasado, la mayoría de estos sistemas incorporan solventes o diluyentes no reactivos y reactivos para reducir la viscosidad de la resina y así hacerlos de uso comercial. Desafortunadamente muchos de estos solventes, modificadores y diluyentes afectan drásticamente la performance del sistema de resinas con respecto a su resistencia química y a la temperatura. El recocido fenol-epóxico se utiliza generalmente cuando se necesita recubrimientos a altas temperaturas para usos con ácido concentrado. El problema con estos sistemas es que tienen una alta carga de solventes, requieren múltiples capas y requiere tiempos intermedios así como elevadas temperaturas de curado cuyos rangos varían entre (150 a 200) °C. El recubrimiento resultante es bastante frágil, tiene poca flexibilidad y es extremadamente difícil reparar los daños. El objetivo es desarrollar un sistema epóxico, 100% sólidos, resistente a los ácidos y a las altas temperaturas que podría ser aplicado usando un equipo convencional con spray, resistente a las condiciones ambientales pudiendo aproximarse a la performance del recocido fenólico, requiriendo cuidadosa aplicación de algunos de los más recientes desarrollos en resinas epóxicas y agentes de curado.

4.7.3 DISCUSIÓN

Es ampliamente reconocido que con el uso de resinas no volátiles fenol-epóxicas (EPN), se puede lograr una resistencia química superior al ácido sulfúrico y otros; entre los más comunes están el bisfenol A y el bisfenol F. Este incremento en la resistencia se debe al incremento de la densidad de enlaces químicos de la molécula no volátil multifuncional. Esto puede verse en la fig. 4. Novolac comerciales con funcionalidad mayor a 14 están disponibles en el mercado. Desafortunadamente, cualquiera de estas resinas con funcionalidad superior a 2.2 tienden a ser semisólidos a temperatura ambiente.

Aun las resinas con funcionalidad de 2.2 – 2.7 tienen viscosidad entre 30 – 50000 Cps, lo cual hace dificultoso su aplicación sin el uso de solventes para reducir su viscosidad. Además, con el incremento de la funcionalidad, la velocidad de reacción se hace más rápida, reduciendo la vida de trabajo del producto.

En consecuencia, el sistema puede llegar a ser extremadamente frágil y propenso a B Staging o una remediación incompleta, si no se tiene cuidado con la selección del agente de remediación y si además este no está bien adherido.

En 1970, se desarrolló un sistema de recubrimientos que incorpora EPN con funcionalidad 2.2. Este sistema se obtuvo con una mezcla de agentes de remediación aromáticos y alifáticos. Este sistema fue diseñado para resistir ácidos sulfúrico y sulfuroso en los gases de una chimenea de desulfuración, el cual fue denominado HPL 3100. El recubrimiento trabajó extremadamente bien, pero desafortunadamente requiere el uso de un equipo complejo en spray, con línea de calentadores, filtros y mezcladores estáticos, todos fueron necesarios para la mezcla apropiada y atomización de este material antes de su aplicación. En adición también requirió una post curado de las tuberías a 80°C para obtener la performance final química y física.

Diez años después en 1989 ocurrió una situación similar en una pequeña unidad piloto diseñada para producir ácido sulfúrico al 93 %. El problema ocurrió en el exterior de una tubería que venía del generador de ácido.

Los gases estaban contenidos en una nube de aerosol al 93% de ácido sulfúrico y a una temperatura de 105°C. A causa de las construcciones forzadas y trabajos de soldadura, los trabajos de recubrimientos no eran viables.

Este hecho elimina la posibilidad de usar solventes fenólicos (medio de transporte), estireno conteniendo vinil-éster o cualquier otro recubrimiento inflamable por el riesgo de fuego y explosión. La planta piloto operó solamente un año.

Esto abrió la oportunidad de desarrollar un nuevo sistema de recubrimiento. El sistema debería ser desarrollado en seis meses ya que el inicio de operaciones sería en ocho meses. El objetivo fue entonces tratar de desarrollar un recubrimiento no inflamable, libre de solventes, el cual sería aplicado con equipo spray convencionales o a mano. Además, debería resistir 105 °C en ácido sulfúrico al 93% por un año. En comparación con el sistema HPL 3100, este requiere una menor viscosidad y una mayor duración.

4.7.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En comparación con el recubrimiento HPL 3100, el nuevo sistema requerirá tener una menor viscosidad y mayor duración de trabajo. Como es el caso de un sistema de recubrimiento VOC, un inicio para la obtención de más aditivos, será de agentes libres de aire, control de flujo de modificadores, materiales para tratamiento de superficie o similares. Además muchos diluyentes, aunque efectivos en reducir la viscosidad de estos materiales, hacen disminuir las propiedades, siendo el resultado muchas veces peor que el antiguo epóxico carbón-alquitrán.

Debido a que solo se dispone de seis meses para completar el trabajo, períodos largos de prueba no serán posibles y la primera tarea consistió en desarrollar un efectivo y acelerado procedimiento de pruebas. Se decidió usar celdas de prueba, modificado con un condensador y calentador para permitir mantener una concentración constante de ácido sulfúrico al 93% y la temperatura constante a 105°C.

Este procedimiento provee alta efectividad y rapidez, a pesar de que varias de las primeras formulaciones fueron destruidas en pocos días. Luego se inició con una base de resina no volátil fenol epóxica con una viscosidad de 25000 Cps a temperatura ambiente y con funcionalidad de 2.4 Esta tuvo una menor viscosidad y alta funcionalidad que la del HPL 3100. Esta tecnología fue mejorada en los últimos 10 años.

Las variables en este proyecto serían la selección del agente de remediación y diluyentes de resina. El procedimiento sería primero probar con un agente de remediación con resina concentrada, para ver si podría aumentar el tiempo de trabajo, que mejoraría como el HPL 3100.

Si lo anterior resultara satisfactorio, entonces trataríamos diluir este sistema para reducir la viscosidad de 25000 Cps a 5500 Cps. La experiencia previa nos demuestra que sería el máximo nivel de viscosidad para la resina, si la formulación fuera satisfactoriamente aplicada con un equipo convencional de airless.

La lista de agentes remediadores y diluyentes se muestra en la tabla I y tabla II (Ver Pág. Sigte.)

Tabla I. Comparación entre agentes de curado de sistemas epóxicos

Tipo Agente Curado	Resist. Acido	Flexibilidad	Ratio Reacción	Viscosidad
Amina aromática	Excelente	Buena	Larga	Baja
Amina cicloalifática	Buena-Exc.	Buena	Moderada	Baja
Amina Alifática	Buena-Exc.	Aceptable	Corto	Media
Amidoamina	Acept.-Buena	Bueno-Exc.	Largo	Media
Poliamida	Aceptable	Excelente	Largo	Alta

Tabla II. Diluyentes para sistemas epóxicos

Diluyentes	Viscos. (cps a 25 °C)	EEW	Propiedades
Butil Glicidil Éter	2	150	Mas eficiente
Cresil Glicidil Éter	12	182	Mejor Resist. Química
Alquil Glicidil Éter (C12-C14)	8	285	Bajos rangos de reacción
1,4Butanodiol Diglicidil Éter	17	130	Difuncionales
Triglicidil Éter	200	140	Buena estabilidad térmica
Resorcinol Diglicidil Éter	275	125	Exc. Resist. Química
Glicidil Éter de Alquino fenol	50	490	Flexibilidad

4.7.5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Iniciando la selección del agente de remediación, se eligió amina aromática (750 Cps) por su duración y excelente resistencia química. En lugar de usar aminas alifáticas como en HPL 3100, se escogió una viscosidad bastante baja, rápida reacción de la amina alifática (40 Cps) para acelerar la remediación, disminuir la viscosidad y tratar de mantener la resistencia química. Se debe tener cuidado con el uso de aminas ciclo alifáticas y aromáticas a temperatura ambiente por su potencial dificultad esteárica, lo cual podría ocasionar problemas con "B Staging" como se mencionó previamente.

Se eligieron cuatro diferentes aminas ciclo alifáticas de bajas viscosidades que fueron mezcladas en relación de aromática/cicloalifáticas hasta obtener un gel en un tiempo de 45 minutos. De nuevo el tiempo gel fue fijado como un mínimo, en base a la experiencia con otros recubrimientos 100% sólidos. Una vez establecidos los cuatro posibles agentes de remediación, quedó lista para iniciar la celda de prueba. Se prepara una muestra de cada mezcla de agente remediador con la base no diluida y se pone sobre paneles preparados antes de insertarlos en la celda de prueba.

Los resultados de estas celdas de pruebas son mostrados en la tabla III.

Tabla III Resistencia al ácido sulfúrico 93% a 105°C

Muestra	Condiciones de la Muestra	Tiempo
1	Pequeñas burbujas aparecieron encima del líquido y decoloración	3 días
2	Pequeñas burbujas aparecieron encima del líquido y decoloración	3 días
3	Decoloración debajo del nivel del líquido	3 días
4	Decoloración debajo del nivel del líquido	3 días
1	Muchas pequeñas burbujas e incrementa la decoloración	7 días
2	Muchas pequeñas burbujas e incrementa la decoloración	7 días
3	Pequeñas burbujas aparecieron encima del líquido y decoloración	7 días
4	Decoloración arriba y abajo del nivel del líquido	7 días
1	Grandes burbujas y pequeñas burbujas cubriendo el área entero	14 días
2	Muchas burbujas y evidencia de cracking	14 días
3	Pequeñas burbujas encima del nivel del líquido y decoloración	14 días
4	Decoloración.	14 días
1	Inicio del cracking, Test. terminado	17 días
2	Cracking severo, Test. Terminado	17 días
3	Pequeñas burbujas encima del nivel del líquido y decoloración	21 días
4	Decoloración	21 días

Como se puede apreciar en la tabla 1, los resultados no fueron amplios tratándose de procedimientos de prueba bastante agresivos. Al final de la prueba se decidió elegir la muestra 4, aunque se probó la muestra 3 al encontrarla aceptable para resistencia química.

Una vez seleccionado el agente de remediación, seguidamente trataremos de reducir la viscosidad de la resina de 5500 cps. Conociendo que los diluyentes tienen un efecto inmediato en la resistencia química del agente seleccionado, prepararemos muestras para sumergirlas a condiciones normales en ácido al 93% antes de seleccionar los materiales para la celda de prueba. La tabla IV muestra los resultados de esta prueba.

Tabla IV. Test de inmersión a ácido sulfúrico al 93% a 23°C

Diluyente	Tiempo	Condición
Buta Glicidil Éter	3 días	Falla
Cresil Glicidil Éter	3 días	Aceptable
Alquil Glicidil Éter (C12-C14)	3 días	Falla
1,4 Butanodiol Diglicil Éter	3 días	Aceptable
Triglicidil Éter	3 días	Paso
Glicidil Éter de Alquilfenol	3 días	Paso
Resorcinol Diglicidil Éter	3 días	Paso

Luego de 3 días se seleccionó a tres multifuncionales glycidyl ethers y el cresyl glycidyl ethers como diluyentes a ser usados en las celdas de pruebas. Nuevamente, los paneles para la celda de prueba fueron hechos con los agentes remediadores previamente seleccionados combinados con el diluyente no volátil a razón estequiométrica. Los cuatros diluyentes fueron usados para disminuir la viscosidad de la resina de 5500 cps. Los recubrimientos resultantes fueron aplicados a los paneles en dos capas de un espesor de 1500 micrones. Las muestras fueron puestas en las celdas e inmersas en ácido sulfúrico al 93% a temperatura constante de 105°C. Luego de 6 semanas las muestras preparadas con cresyl glycidyl ether fueron destruidas y el panel fue reemplazado. Las muestras que quedaron fueron inspeccionadas luego de 12 semanas y evaluadas.

La mejor muestra fue la de resorcinol diglycidol ether con pocas ampollas tanto bajo y sobre el nivel del líquido. El glycidol ether de alkyl fenol fue el siguiente mejor con menores ampollas y resquebrajamientos bajo el nivel del líquido. El triglycidyl ether fue el de mayor superficie agrietada.

Sobre las bases de estos resultados, se puede afirmar que se ha encontrado un recubrimiento que podría soportar un servicio de un período de 12 meses. Como no se tuvo más tiempo para pruebas, se produjo 200 galones y fue denominado HPL 4410. Este producto fue seguidamente aplicado a 450 m² de un conducto. Luego de 14 meses de servicio la unidad fue parada y el recubrimiento inspeccionado. La condición del recubrimiento fue: en gran parte intacto, en otros dañados y en algunas áreas destrozadas. Los extremos de 2 metros del conducto estuvieron en mejores condiciones, seguidas por el extremo superior e inferior.

Al mismo tiempo de que esta prueba una amplia variedad de otros recubrimientos inorgánicos y componentes metálicos fueron puestos en prueba. Solo el recocido fenólico concordó con el nuevo HPL 4410, de más de 20 aleaciones metálicas probadas, solo el Hustelloy C-22 e Inconel 625 probaron ser totalmente aceptables para este medio agresivo, mostrando pequeños ataques.

Basados en los programas de prueba, se continuó modificando la formulación para hacer al sistema seguro para aplicaciones. La amina aromática usada en el agente remediador del HPL 4410 contiene MDA, un sospechoso cancerígeno. Su uso desde entonces ha sido restringido en US. El resorcinol diglycidol ether usado como diluyente es agresivo a la piel y puede causar ampollas en algunas personas si no se tiene cuidado en su uso. De la base de datos establecida aumentamos el sistema HPL 4310. El HPL 4310 aunque no es bastante resistente químicamente a altas concentraciones de ácido sulfúrico caliente, es aún superior a otros recubrimientos epóxicos convencionales disponibles. Luego que el HPL 4310 ha estado en servicio por varios años en otra planta de poder, fue usado para recubrir y reparar el Hospital Hadaza en 1993.

4.7.6 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN

Cuando las calderas en el Hospital Hadaza se instalaron en 1993, se encontró que el mayor número de chimeneas estaba en mal estado. Por el costo y/o tiempo requerido para reemplazarlos, se decidió tratar de repararlos. El concreto fue atacado por SO₂ condensado como ácido sulfúrico. El ácido había penetrado profundamente en el concreto, dañando no solamente el concreto.

El primer paso fue arenar dentro y fuera de las chimeneas y sellarlo con un ultradelgado epóxico 100% sólido, llamado HPL 1300. La selección de este tipo de sellador sobre otra base solvente o agua estuvo basada en la porosidad de la superficie, debido a que estaban severamente picados y dañados.

El uso de un primer convencional base solvente permitiría el atrapamiento del solvente en el concreto, como el HPL 1300 penetra profundamente en la estructura, este refuerza y sella la estructura. El segundo paso fue reconstruir las áreas destruidas. Para esto se usó concreto súper (grouting a base de resina novolac), luego se aplicaron dos capas de HPL 4310 para protegerlos de futuros ataques de ácidos y erosión causadas por arena del desierto traída por vientos.

Cuatro años después en el verano de 1997 las chimeneas fueron inspeccionadas y se encontraron en excelentes condiciones. No exhibía signos de corrosión, ruptura de superficie o resquebrajamiento. El sistema, continúa brindando excelente protección hoy en día, sin muestras de deterioro.

4.8 CONTROL Y EFECTO DE PARED FRÍA

El término “Efecto de pared fría” se refiere al mecanismo por el cual la humedad puede ser conducida a través de un recubrimiento el cual está en contacto con agua y/o vapor por un lado y un sustrato (metal, concreto, fibra de vidrio, etc) por otro lado, donde el exterior de la superficie puede estar sujeto a cambios de temperatura. El efecto de pared fría requiere un gradiente térmico a través del recubrimiento.

Imagine un tanque con agua, donde el recubrimiento y el agua están a la misma temperatura. Por la noche la temperatura del aire baja y el exterior (pared) del tanque se enfría. El agua sin embargo tiende a permanecer a la misma temperatura. Esto origina un gradiente térmico a través del recubrimiento conduciendo humedad en el recubrimiento. Al día siguiente con el aire caliente ocurre lo inverso y se tiene un gradiente térmico en otra dirección. Todos los recubrimientos orgánicos son permeables. Esto es porque las moléculas de agua son lo suficientemente pequeñas para pasar entre las moléculas de la resina. En un período de tiempo corto el recubrimiento (forro) llega al equilibrio con la humedad y si el recubrimiento tiene una excelente adhesión, entonces la cantidad de humedad que entra al recubrimiento será igual a la cantidad de humedad que deja el recubrimiento y se tiene un sistema estable (Ver fig.11 Sigte. Pág.).

Sin embargo, si el recubrimiento tiene pobre adhesión o ha sido aplicado sobre una superficie pobremente preparada, se puede formar una interface entre el recubrimiento y la pared del tanque donde se puede acumular humedad. Si no se da un gradiente de temperatura entonces este sistema sería estable y no se formarían ampollas. Pero, como se mencionó siempre existe un gradiente de temperatura presente y cuando esto ocurre se forman ampollas (Ver Fig. 12 Sigte. Pág.). Con una ampolla formada, se puede coleccionar más humedad, continuando el ciclo, llegando a agrandar la ampolla. Generalmente no hay corrosión bajo las ampollas porque hay muy poco oxígeno o nada presente. Sin embargo, si la ampolla se rompe entonces

puede ocurrir una corrosión rápida. También un mayor gradiente de temperatura puede hacer que este problema se desarrolle más rápidamente. Que hace DUROMAR, para controlar o parar el efecto pared fría. Este serio problema fue enfrentado en tres formas (Ver Fig. 13)

Figura 11

3 capas – 30 mil de un sistema con excelente adhesión

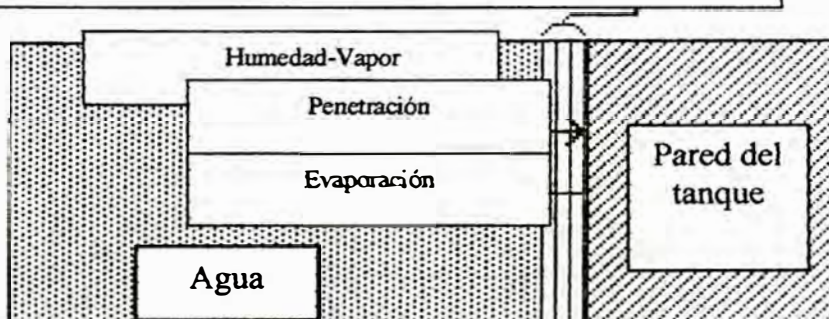


Figura 12

El efecto de una gradiente térmica en un sistema con pobre adhesión

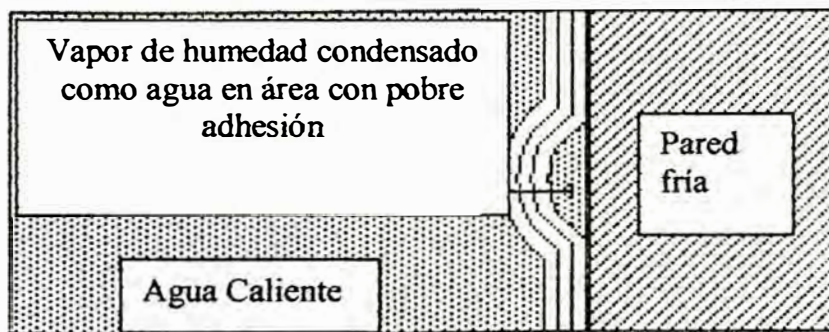
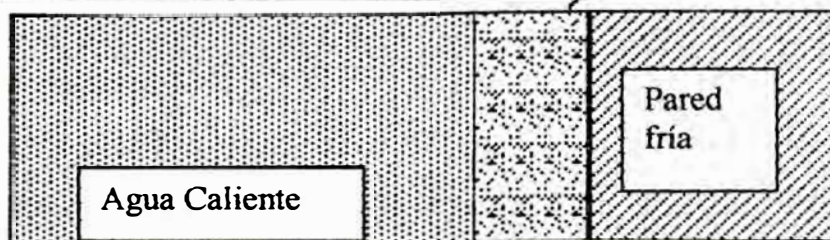


Figura 13

Capa de 80 mil de espesor



Primero; todos los recubrimiento; son sistemas epóxicos 100% sólidos. Esto da una excelente adhesión y sin solventes, que elimina el problema potencial de migración y atrapamiento de solventes.

Segundo; siempre se usan productos de recubrimientos densos con rellenos, Los rellenos (tapadores) no son permeables y reemplazando resinas con rellenos reduce la cantidad de humedad, lo cual puede ayudar al recubrimiento. La razón relleno/resina varía de 2 a 5 ó más (producción poco común) reducen significativamente el contenido de agua.

Tercero; el recubrimiento epóxico denso con relleno es aplicado en un mínimo de 80 mils en una capa. Aplicando el recubrimiento en una capa elimina el problema potencial de adhesión entre capas y el inherente debilitamiento de la primera. Lo más importante, que la película resista la fuerza de expansión de la humedad atrapada y no permita la formación de ampollas. Debido a que las ampollas no se pueden formar entonces se ha producido un sistema estable.

Los sistemas de recubrimientos (SAR/HPL 2510/HPL 2131/HPL 4330) DUROMAR, aplicados en un espesor entre 80-120 mils no han experimentado fallas debido al efecto de pared fría.

4.9 EXTENSIÓN DE VIDA PARA LOS SISTEMAS DE AGUA CIRCULANTES Y CONDENSADORES USANDO COPOLÍMEROS EPOXY 100% SÓLIDOS.

4.9.1 RESUMEN

Los sistemas del agua circulante de la Empresa de Servicios Públicos, especialmente a esos sujetos al agua salada o salobre o pesada, a menudo exhiben serios problemas de corrosión y/o erosión. Partes del hierro fundido puede experimentar fallas catastróficas hacia el final de su vida útil.

Los componentes hechos de acero al carbono y aún de acero inoxidable pueden mostrar signos serios de degradación desde efectos galvánicos, corrosión, erosión y corrosión inducido microbiológicamente (MIC).

Una visión global en el uso de sistemas de revestimiento epóxy, 100% sólidos, VOC cero, es presentado como un medio útil para extender la vida de los Sistemas de Enfriamiento del Agua, en las estaciones de potencia de la Empresa de Servicios Públicos. En la discusión están incluidas las rejillas rotatorias, tubería de llegada del túnel, filtros de sedimentación (arrastres), acueductos (canales de madera), cajas de agua del condensador, placas tubulares, tubos y torres enfriadoras. Los revestimientos son seleccionados para su capacidad para resistir la erosión, la abrasión, el impacto, el abuso mecánico y los efectos galvánicos.

Los sistemas de película gruesa (sobre los 300 microns), de película delgada (1000-1500 microns), conductivos, de cura bajo agua, y nuevos sistemas híbridos flexibilizados son usados para reconstruir, revestir de nuevo y reparar el equipo y tubería corroído y erosionado a través del ramal cerrado (lazo) de agua enfriada. Muchos de estos sistemas tienen sobre los veinticinco años de experiencia de operación sin defecto.

4.9.2 INTRODUCCIÓN

En las pasadas dos décadas, el costo de construir nueva capacidad de generación de potencia ha incrementado dramáticamente. En muchas áreas, el alto costo y el tiempo de conducción grande requirió construir una nueva planta que ha mandado el doble de su vida útil de operación de unidades existentes. Este así llamado proceso de "Extensión de Vida" ha requerido el desarrollo de nuevos y mejores materiales de mantenimiento, de acuerdo con los mejores procedimientos de reparación para obtener vida de servicio más grande desde sistemas de operación a costos aceptables.

El medio ambiente dentro del sistema de agua circulante es uno de las áreas más agresivas en una estación de potencia con respecto a la corrosión, abrasión y daño mecánico.

Las plantas consiguen allí agua enfriada desde el mar, esuarios de marea, o desde los ríos o lagos contaminados son aún más severamente afectados. Por esta razón las empresas de servicios públicos han usado una variedad de materiales de construcción en un esfuerzo para prevenir o reducir estos efectos nocivos sobre sus tuberías y otros componentes en el ramal cerrado (lazo) de agua enfriada.

Como tecnología desarrollada, muchos tipos diferentes de metales y aleaciones fueron usados en el intento de encontrar la mejor solución a los problemas continuados (prolongados) con la erosión y la corrosión. Debido a que los componentes tuvieron diferentes requerimientos mecánicos y no fueron siempre diseñados por los mismos ingenieros para el mismo ambiente, no es inusual encontrar sistemas de enfriamiento de agua los cuales tienen estanques de toma de concreto, rejillas coladeras de basura, colador (separador) de acero inoxidable, túneles de admisión alineados de acero al carbón, las bombas de hierro fundidos de agua circulante, impellers de bronce, cajas de agua de hierro fundido, planchas de tubos de metal muntz y un rango amplio de materiales para el entubado (tubería) del condensador. Para abreviar, un sueño de los metalúrgicos o una pesadilla de los ingenieros de corrosión.

Estos metales y aleaciones cuando usó solo a veces ciertos problemas de corrosión resueltos, pero cuando combinado en el sistema, muchas veces creó otros. Los problemas de corrosión galvánico a veces salido fuera de control y los nuevos materiales más nobles fueron también más propenso a una nueva clase de corrosión, corrosión inducida microbiológicamente (MIC).

Los intentos más recientes para controlar los problemas de corrosión involucraron el uso de epoxis de brea o alquitrán de carbón, revestimiento de caucho, y los sistemas de protección catódico pasivo. Muchos de estos intentos fueron probados exitosamente en el corto plazo. Las pinturas epoxy de brea o alquitrán de carbón han sido largamente usadas en las tuberías de circulación de agua y en otros componentes para dar protección de corrosión.

Sin embargo, el espesor de la película extremadamente delgada y la naturaleza solventada y los hacen propenso a daño de desechos y requiere repintado constante. El revestimiento de caucho también ha tenido éxito en ciertas áreas del sistema. Sin embargo como los costos de mantenimientos subieron y las empresas públicas de servicios trataron trató extender la vida de sus plantas más allá del diseño adicional de 25 a 30 años, la facilidad de reparar de estos revestimientos llegó a ser un factor principal de limitación. La preocupación por el medio ambiente y la seguridad de los trabajadores también han empezado a jugar un más grande rol en la selección y el uso de revestimientos protectores.

Las pinturas de alquitranes, pinturas altamente solventes y muchos de los anti-suciedad han llegado a ser una cosa del pasado en muchas partes del mundo. Sin embargo, estos sistemas han tenido bastante éxito buscando garantías posibles a modificaciones posibles de estos productos para encontrar mejoras futuras el cual podría ofrecer esperanzas de larga vida.

4.9.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LOS SISTEMAS DE AGUA CIRCULANTE

El performance histórico de los materiales orgánicos han sido examinados como una ayuda al diseño del sistema de revestimiento para la reparación, renovación y protección de componentes existentes que vienen en contacto con el medio de enfriamiento. La dificultad de evaluar los varios sistemas de revestimiento orgánico está compuesto por el impacto significativo (algunos dicen el mayor) del dominio y dedicación del aplicador, en el performance del recubrimiento a largo plazo.

Los factores principales que afectan el diseño de los materiales de revestimiento para reparar o revestir los sistemas de enfriamiento del agua son:

- Compatibilidad química al medio de operación.
- Adhesión a la metalurgia del sustrato.
- Resistencia al potencial galvánico.
- Tolerancia a la preparación pobre de la superficie.
- Capacidad de cura a temperatura ambiente y debajo del ambiente
- Flexibilidad.
- Tolerancia a la humedad o capacidad de cura bajo el agua.
- Resistencia de abrasión.
- Resistencia a la formación de escala.
- Resistencia al daño mecánico desde el personal de mantenimiento o desde los acarreos (deshechos) en el agua enfriada.
- Límites de la temperatura de operación.
- Fácil de aplicación
- Seguridad para la aplicación personal y del medio ambiente.

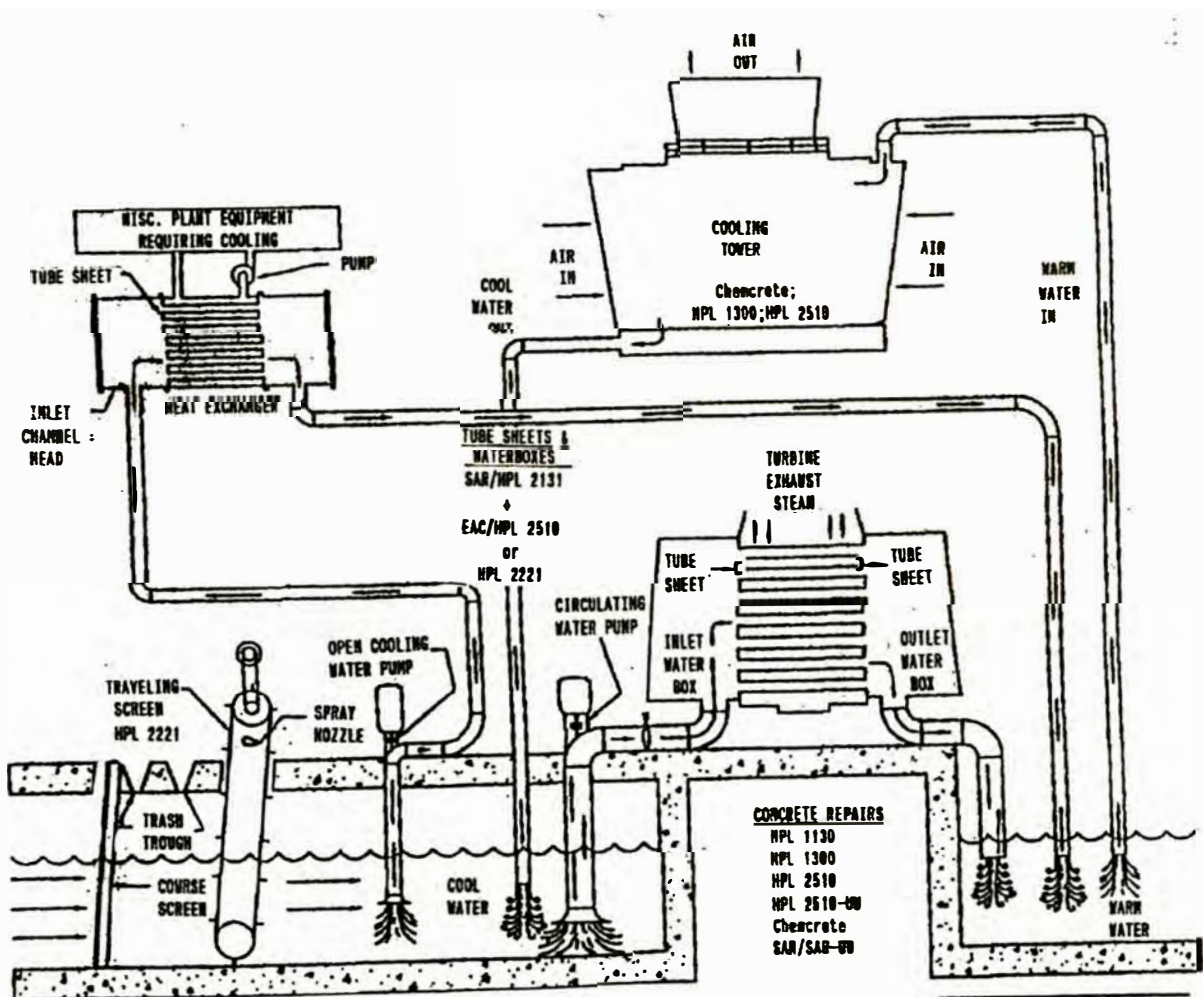
Tomando en cuenta todos los factores mencionados, los sistemas epoxy 100% sólidos claramente ofrecen el mayor costo efectivo y solución a largo plazo a los problemas de erosión y corrosión en los sistemas de enfriamiento del agua.

Habiendo dicho esto, uno debe recordar que allí existen muchas variaciones de sistemas epoxy como hay problemas. Es por eso crítico asegurar que el uno seleccionado reúne el criterio de diseño requerido para que el componente sea reparado como lo bosquejado arriba.

4.9.4 RENOVACIÓN DEL SISTEMA

En la figura 14 se muestra un esquema de un sistema de agua circulante típico mostrando la mayoría de los componentes. Muchos de estos requisitos de diseño para la reparación y revestir de nuevo los materiales a ser usados sobre el equipo en el sistema son similares, tales como la resistencia química y de abrasión, la fácil aplicación y la seguridad. Pero otros parámetros tales como la flexibilidad, temperaturas de operación, potenciales galvánicos y adhesión para diferentes cambios de la metalurgia. Comenzando con las rejillas rotativas, algunas de las características claves de diseño de las áreas más problemáticas son revisados.

Fig. 14.- Sistema de circulación de agua



4.9.4.1 Rejillas rotativas del agua

Las rejillas rotativas del agua son usualmente hechas del acero al carbón. Típicamente ellos vienen pintados con un Alkyl o en algunos casos un alquitrán epoxi. Muchas veces las rejillas mismas son también de acero al carbón, pero el uno más reciente ha sido uno de acero inoxidable tipo 304.

Si la pintura original que fue aplicada por el fabricante se ha deteriorado, estropeado, o a sido dañada, este hecho hace más susceptible la corrosión general y galvánica. Aunque el repintado simple es trivial, es difícil ejecutar apropiadamente en el campo por el problema con la preparación de la superficie.

Por eso las rejillas rotatorias son usualmente sacadas a otra área para restauración. Esto por supuesto drásticamente incrementa el costo y hace que la selección de todos los más necesarios recubrimientos de larga vida.

El revestimiento, especialmente si las rejillas son hechas de un material diferente tales como el 304 SS, debe poder resistir el potencial galvánico puesto, vincula el acero inoxidable también como el acero al carbón, sea bastante flexible para manejar el movimiento de la rejilla, y tener excelente resistencia a la abrasión en películas delgadas (250-1000 micrones).

En suma, el material debe ser capaz de ser aplicado usando un sistema de rociado airless convencional, bajo menos que las condiciones perfectas, y idealmente no contienen VOC's u otras sustancias peligrosas.

Es en esta región que uno de los recientes desarrollos, un copolímero epoxy rubberized tiene un gran potencial de aplicación.

4.9.4.2 Túneles de entrada de agua

Uno de los más recientes revestimientos orgánicos usados a través del sistema de circulación de agua fue, y en algunos lugares todavía es, los epóxicos de alquitrán. Las formulaciones originales fueron de base solvente pero últimamente hay productos 100% sólidos disponibles. Como un revestimiento en un sistema de agua circulante, los epoxys de alquitrán han trabajado bastante bien. Como con todo los sistemas de base solvente, la aplicación es de principal importancia y el espesor de la película típicamente seca ha sido limitado a un máximo de 15 mils, obtenido aplicando 2 o más capas.

Corrientemente, por efectos del medio ambiente y de salud, su potencial futuro es limitado. En un esfuerzo para incrementar la resistencia a la abrasión de la entrada de los túneles, muchas empresas instalaron revestimiento de caucho durante la etapa de construcción, el cual fue generalmente aplicado en la fábrica. El caucho, mientras resuelve los problemas de erosión y corrosión, fue susceptible a daño externo debido a acarreo durante las paradas.

También como la edad del revestimiento de caucho, los problemas con la adhesión a veces conducen a fallas catastróficas como grandes secciones paradas y los condensadores y bombas circulantes taponeadas. El caucho también probó ser dificultoso por el tiempo que consume reparar el revestimiento por el trabajador de mantenimiento.

Debido a la gran área de superficie que existe de la mayoría de los túneles de entrada, la reposición o el revestir de nuevo de estas estructuras puede resultar caro. El área debe ser vaciada y sellada. La preparación de la superficie y el trabajo de dar una capa de pintura (revestimiento) sería requeriría ser hecho en un área cerrada creando problemas de ventilación y eliminación de sólidos. Este problema es arreglado si allí existe un crecimiento de gran cantidad de incrustaciones o de vegetación marina

El sistema de capa seleccionado combinará las buenas cualidades de la goma (rubber), tal como la resistencia a la abrasión y química, y además es fácil de aplicar, simple de reparar y resistir el daño mecánico. Debe ser tolerante a la humedad y poder curar en o bajas condiciones debajo de ambiente. En algunos casos, un material de curación submarina puede ser que tenga que se utilizado por la inhabilidad de conseguir la superficie completamente seca o para detener la fuga en las áreas de juntas. De nuevo, como con las rejillas, el nuevo copolímero epoxi engomado (rubberized) muestra gran potencial.

4.9.4.3 Cajas de agua del condensador

Las cajas de agua del condensador, especialmente a esos hechos de hierro fundido en el servicio de agua de mar, a veces sufren algo de los más severos daños por grafitización y ataque galvánico.

Ellos pueden ser tan malamente dañados que mucho de su integridad estructural es perdido y requerirá reconstrucción además de revestir de nuevo. En circunstancias tales como estos, un tipo de material de masilla rellena de alta resistencia a la abrasión puede ser usada para reconstruir y reperfilear las cajas antes de dar una capa de pintura (revestimiento).

El espesor del material en esta área puede exceder a 2.5 cm. Una vez que las cajas de agua hayan sido reconstruidas, el área entera es (pintado) revestido con un revestimiento de resistente a la química y a la abrasión en tres capas de pintura de 500 micron.

Las capas de pintura son requeridas para asegurar que la superficie esté libre de vacíos y manchas que queda in que lo toque la brocha al pintar la capa para proteger además contra problemas de corrosión.

Las películas delgadas también protegen al sistema de intrusiones exteriores en la caja de agua también como daño al trabajador.

Las cajas de agua protegidos en esta manera puede tener una vida esperada de veinte a treinta años.

4.9.4.4 Placas tubulares del condensador.

Sin duda, las placas tubulares del condensador son los que presentan el mayor número de problemas de todos los componentes en el sistema de enfriamiento del agua. Ellos pueden sufrir desde virtualmente todas las formas de ataque, corrosión galvánica, corrosión química, corrosión de hendidura (rejilla), corrosión y erosión inducida microbiológicamente. Las placas tubulares son también la superficie más difícil en la cual intenta aplicar una capa de pintura. Debido a esto un proceso de una capa de película delgada fue desarrollado en Alemania durante los años recientes de 1960. Este sistema incorpora el uso de una capa epoxy 100% sólidos para instalar un revestimiento de 5 mm en el tope de la placa tubular.

Esta capa sella completamente el tubo a la junta de la placa tubular, protege la placa tubular de la corrosión de todos los tipos y protege contra más erosión y daño físico. Varios miles de tuberías han sido revestidos de esta manera con el más viejo que tiene más 25 años de vida de servicio.

En suma las entradas del tubo pueden experimentar erosión severa desde los sólidos arrastrados en el agua enfriada. Las inserciones anteriores de metal o plástico han sido insertadas en los terminales. Sin embargo, mientras resuelve el problema en el ingreso, ellos transfieren el problema al final de la inserción por la erosión escalonada. Este problema es aún más problemático porque es difícil de ver y aún más difícil de reparar. La solución de nuevo queda con un revestimiento epoxy 100% sólidos de película delgada resistente a la abrasión el cual es hecho una parte integral del revestimiento epoxy en la capa tubular.

Aunque la aplicación incorpora un procedimiento de propiedad, la solución provee años de servicio sin el re-entubado.

Recientemente, la técnica y equipamiento han sido desarrollados para cubrir la longitud entera de la tubería del condensador. Aunque las aplicaciones comerciales son limitadas, las pruebas que han sido corridas en USA, Alemania e Italia muestra grandes promesas.

4.9.4.5 Torres de enfriamiento

Es menos severo pero puede darse un problema originado por el envejecimiento de las torres de enfriamiento. Además el concreto y los materiales de construcción mencionados previamente, madera y fibras de vidrio son también materiales comunes que requieren reparar.

Las estructuras de las fibras de vidrio pueden ser fácilmente revestidos de nuevo con cualquiera de los materiales previamente discutidos. Si las hojas del ventilador requieren refinación es muy importante usar un material con buenas características flexurales, ofreciendo un acabado de superficie lisa. Si la madera es para ser pintada (dada una mano de pintura), debe ser permitido secarse afuera.

Luego sería preparado con un epoxy 100% sólidos tolerante a la humedad con buenas propiedades de penetración, seguido con una película delgada, de 750-1000 micron, capa superior resistente a la abrasión.

A veces los mismos estanques de concreto requieren reparación extensa. De nuevo con la madera, el concreto sería permitido secar, preparar con epoxy 100% sólidos tolerantes a la humedad, reconstruir con un mortero epoxy tan necesitado y finalmente el pintado superior (revestimiento) con una capa superior lisa epoxy 100% sólidos a un espesor de aproximadamente 1000 microns.

4.9.5 MEJOR CRITERIO DE UN RECUBRIMIENTO

- Compatible químicamente con el ambiente
- Mejor adhesión del sustrato
- Potencial para alta performance
- Fácil y seguro para reparar
- Requiere menor nivel de preparación de superficie
- Aplicado por la manera manual o con equipo spray
- Máxima protección obtenida en uno o dos recubrimientos

En la tabla V se muestra las propiedades del sistema de recubrimiento HPL2221 a 25 °C

TABLA V.- PROPIEDADES DEL HPL 2221 (A 25°C)

Data Química		Data Física		Data Aplicación
Rango de pH	1.5 – 14	Temper. Seca Limite	190°C	Tiempo curado
Ácidos Inorgánicos	Excelente	Temp. Húmeda Limite	104°C	Equipo: Brocha, Airless
Ácidos Orgánicos	Excelente	Resisten. Tensión (psi)	13,000	Sobre capa
Solventes	Muy bueno	Resisten. Pegado (psi)	14,000	Tempera. Min. Aplicac.
Hidrocarburos	Excelente	Resist. Impacto (in-lb.)	150	Ratio de mezcla
				2:1 (B/A)

**DUROMAR**

Foto N° 2A.- Ac. Inox. 316 con depósitos de MIC.

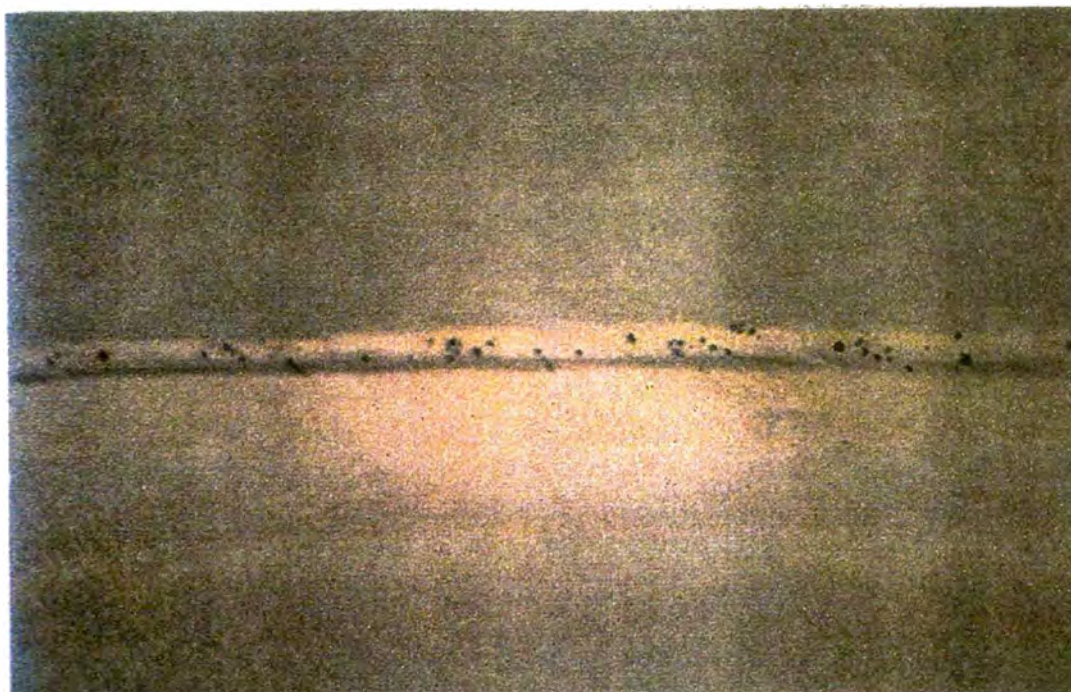
**DUROMAR**

Foto N° 2B.- Pits MIC en un cordón de soldadura de Ac. Inox. 316.



Foto N° 3A.- Plato divisor de aleación de Acero.



Foto N° 3B.- Inicio de reparación de la tapa de aleación de Acero.

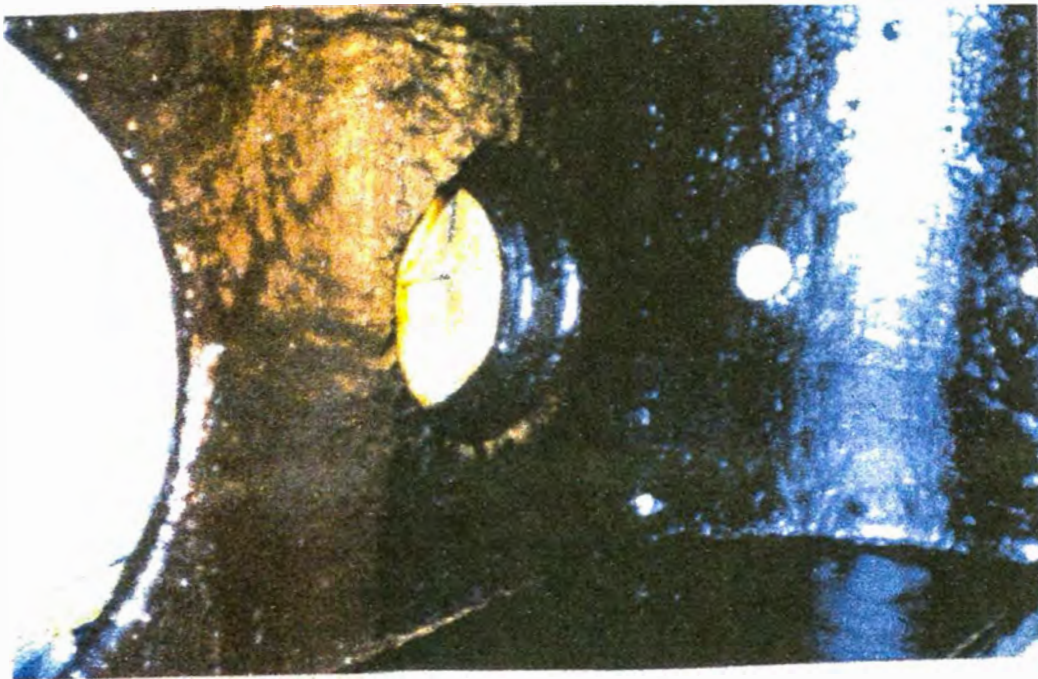


Foto N° 3C.- Recubrimiento base a 80 mils.

DUROMAR



Foto N° 4.- Reparación completa de MIC en Ac. Inox.

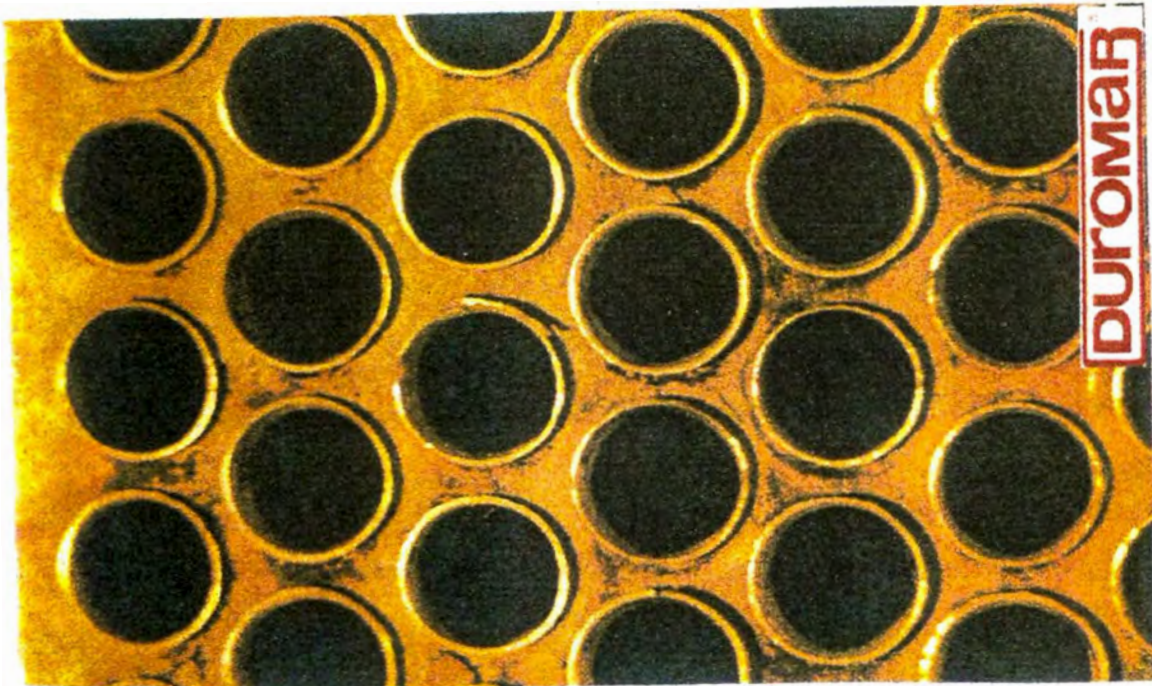


Foto N° 5A.- Espejo de Ac. Inox. Antes de ser arenado.

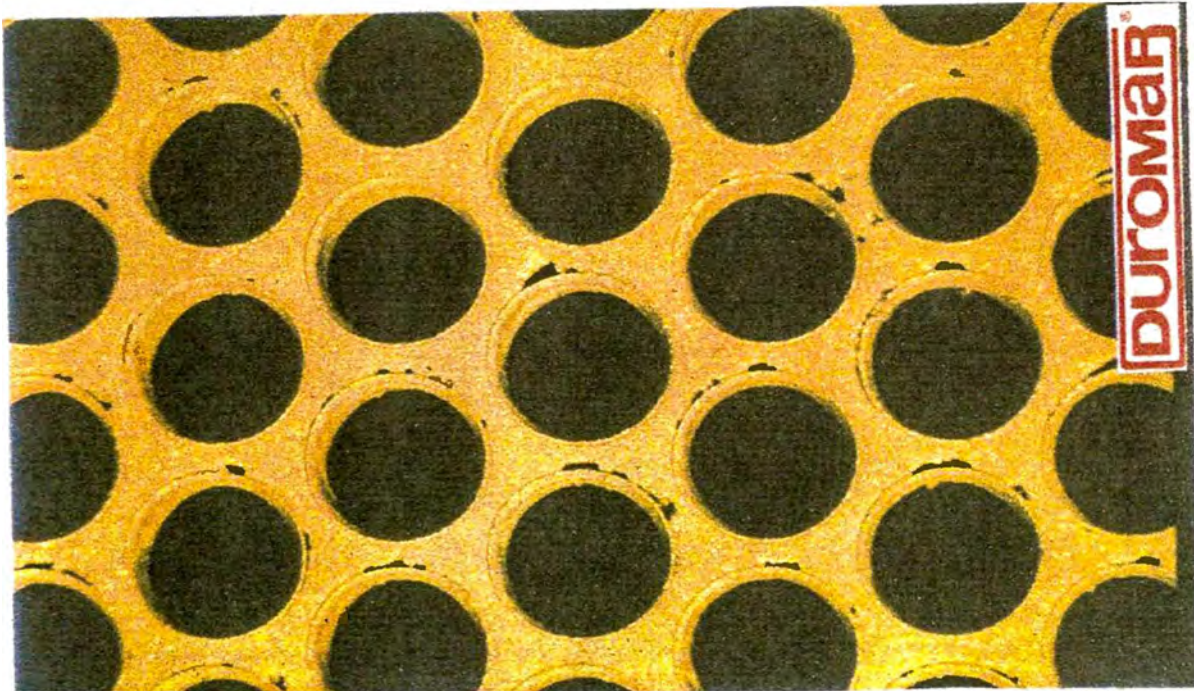


Foto N° 5B.- Después del arenado. Nótese las uniones.

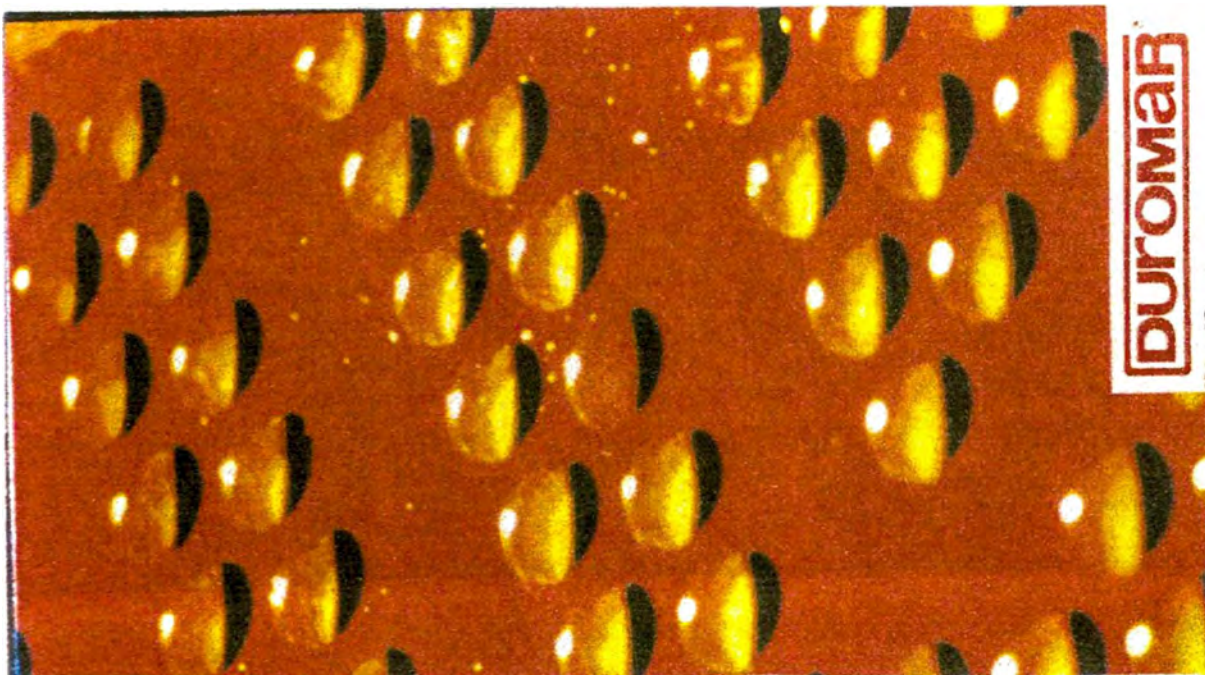


Foto N° 5C.- Revestimiento de espesor de película de 180-250 mils.

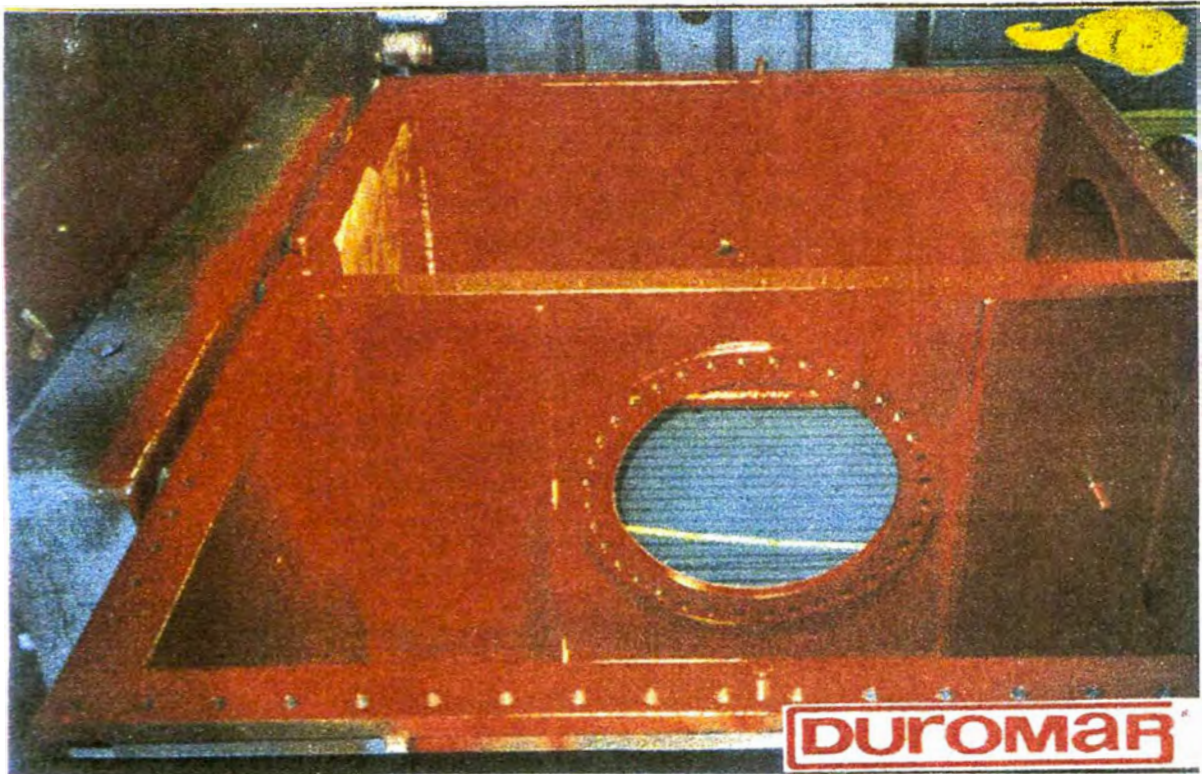


Foto N° 6.- Caja de agua nueva recubierta con HPL 2221.

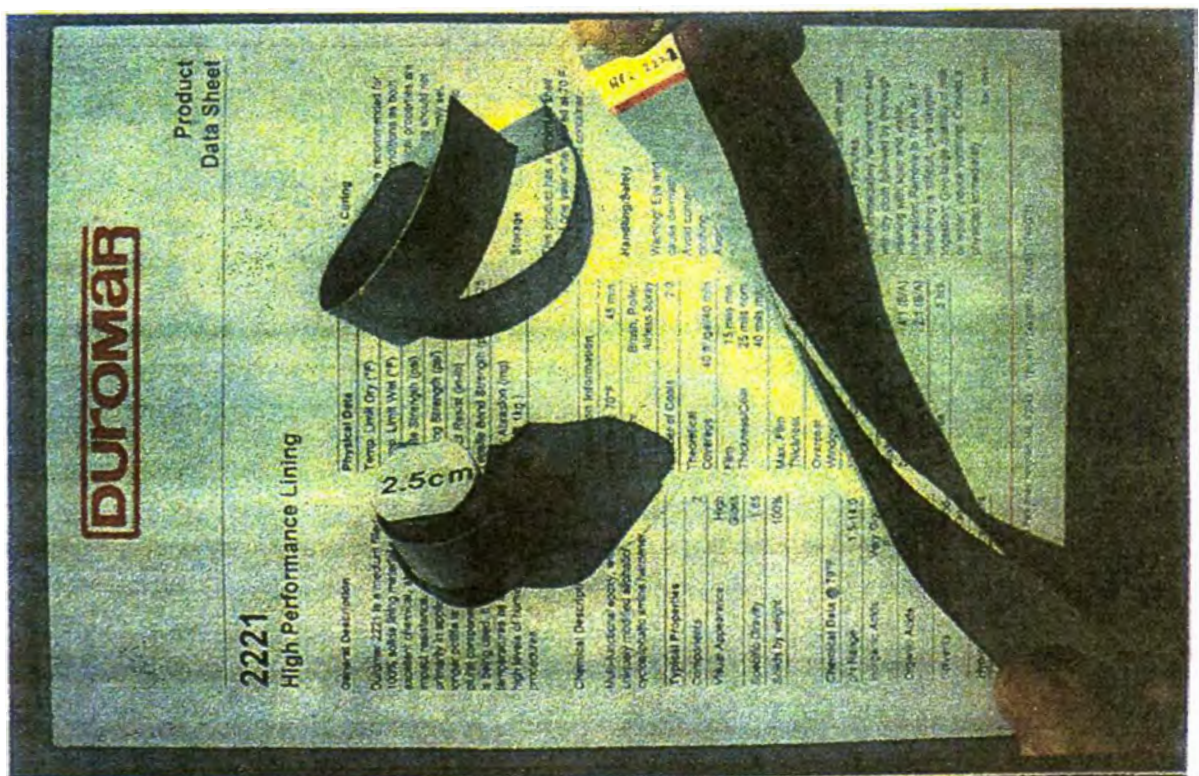


Foto N° 7.- Flexibilidad del HPL 2221.

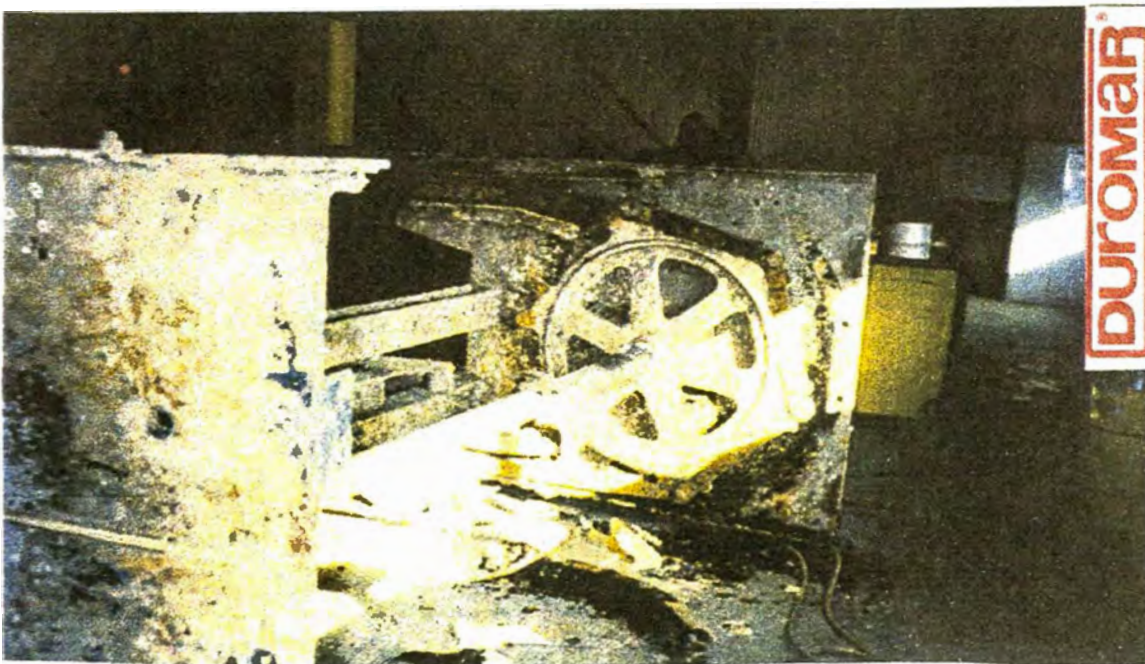


Foto N° 8A.- Zona de desechos antes de limpieza.

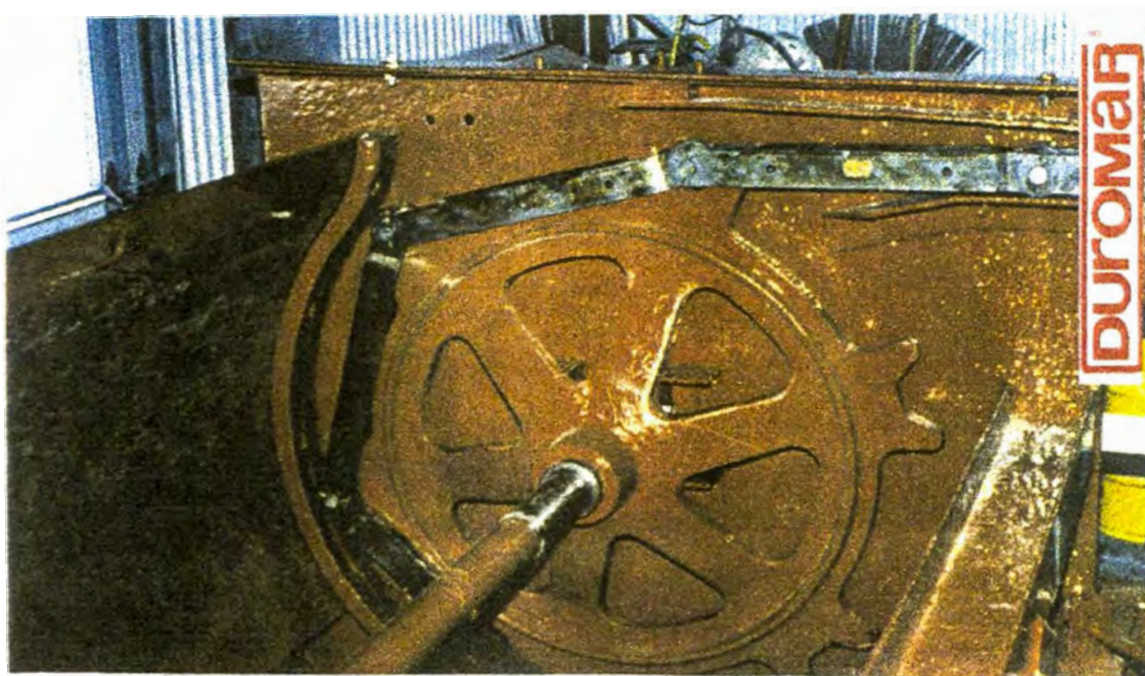


Foto N° 8B.- Zona de desechos recubierta con HPL 2221 a 40 mils.



Foto N° 9A.- Cuchilla de Recogedor de nieve con falla en el recubrimiento de uretano.



Foto N° 9B.- Cuchilla protegida con HPL 2221.

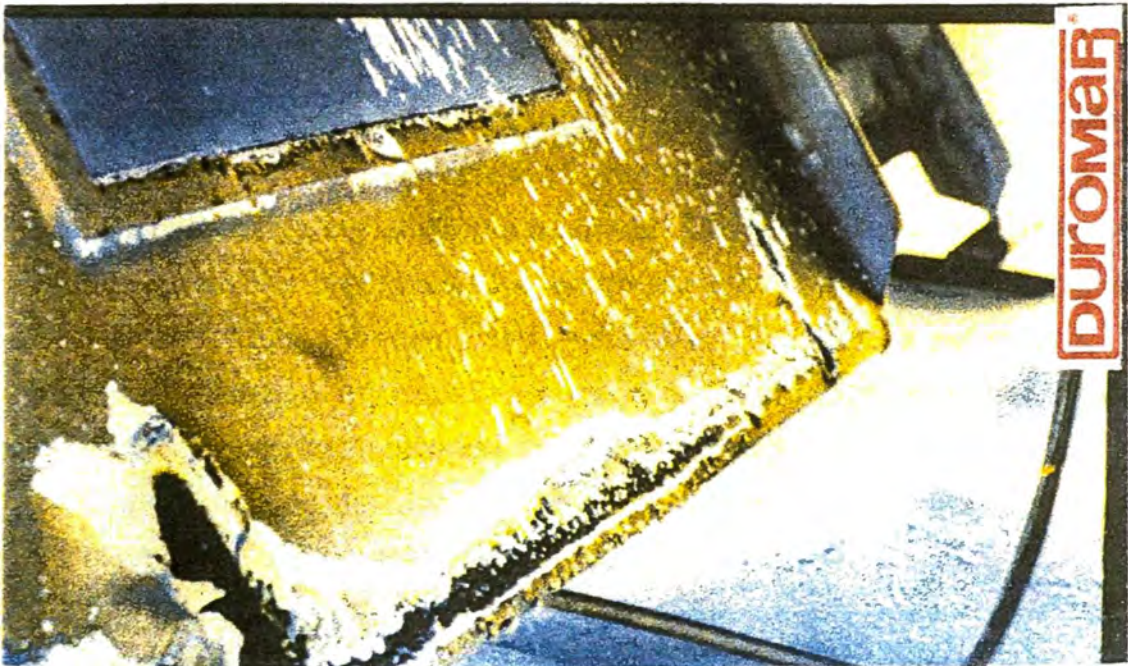


Foto N° 10A.- Estructura con fallas en el uretano.



Foto 10B.- Aplicación con airless del HPK 2221.

V.- CONCLUSIONES

Los recubrimientos epoxi fenol no volátil, son usados en áreas de altas concentraciones de ácido y elevadas temperaturas. Aunque no como la resistencia química de los recocidos fenólicos, estos son bastantes superiores al sistema de resinas orgánicas. Con apropiada formulación estos son fáciles y seguros de aplicar, ofrecen mejor flexibilidad, son fáciles de reparar, y pueden ser aplicados en espesores mayores de (10000 micrones) y en menores capas que otros solventes orgánicos. Además, se tiene la ventaja de no VOC y sin riesgos de fuego o explosión en espacios confinados, y sin daños al ambiente o a los aplicadores.

La extensión de vida de los sistemas de circulación de agua puede ser logrado a través del uso de sistemas epoxy 100% sólidos. Con la propia selección, estos sistemas pueden ser aplicados económicamente y con el potencial a más del doble de la vida de servicio esperado original. Los productos epoxy de película delgada han sido instalados sobre las capas tubulares del condensador y las cajas de agua con más de treinta años de experiencia de operación. Nuevos copolímeros epoxy engomado (rubberized) están empezando a mostrar promesa para el reemplazo de los recubrimientos de goma (rubber) y posiblemente aún algunos sistemas epoxy de película delgada en ciertas circunstancias. Incorporando estas características de performance con el hecho de que ellos no son peligrosos, no inflamable, y no tóxico y ellos ofrecen a la empresa unos medios atractivos y económicos para la extensión de vida de su vida de agua circulante.

VI.- BIBLIOGRAFÍA

1.- Manual Técnico de Recubrimientos poliméricos.

Pág. 3 –12 Sección V. Duromar

- Use Of. 100 % solids epoxy coatings

Pág. 1- 21 Raymond J.

Jaworowski

- Life extension for circulating water system and condensers using 100% solids epoxy. Pag 1-17 Raymond J.

Jaworowski

A. Wesley Langeland

- Control de la Corrosión: Estudio y medida por técnicas Electroquímicas. Pag. 30-33, 231-253 José A. Gonzales

- Prevención de la corrosión por recubrimientos protectores

Pag.2-10 Charles G. Munger,
NACE 1984.

VII.- GLOSARIO

Agentes Remediadores	Agentes de curado.
Calorizado	Conversión de una superficie metálica en una aleación, poniendo en contacto polvo de aluminio sobre la superficie caliente.
Cromizado	Conversión de una superficie metálica en una aleación, poniendo en contacto polvo de cromo sobre la superficie caliente.
Mils	Milésima de pulgada.
Sherardizado	Conversión de una superficie metálica en una aleación, poniendo en contacto polvo de cinc sobre la superficie caliente.
V.O.C.	Compuestos orgánicos volátiles.