

**Universidad de Matanzas. “Camilo Cienfuegos”  
Facultad de Ingeniería Química y Mecánica.  
Departamento de Química e Ingeniería Química.**



**Propuesta de un Sistema de Protección Anticorrosivo y  
Conservación para equipos y componentes del área de  
centrífuga de la Central Eléctrica Diesel MTU de  
Varadero.**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE INGENIERO  
QUÍMICO.**

**Autora:** Anisley Herrera Ramírez.

**Tutor:** Ing. Asael González Betancourt.

**Matanzas, junio, 2012**

*Pensamiento*

*“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor,  
la electricidad y la energía atómica: la voluntad.”*

Albert Einstein

## *Declaración de autoría*

Yo, Anisley Herrera Ramírez, me declaro como la única autora de este Trabajo de Diploma, por lo tanto autorizo para su consulta a todo aquel que la necesite ya sea instituciones, profesionales, técnicos y personas en general para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente, quedando prohibida la reproducción total o parcial de este documento.

Firma: \_\_\_\_\_

**Anisley Herrera Ramírez**

Facultad de Ingenierías Química y Mecánica  
Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”,

## *Nota de Aceptación*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Presidente del Tribunal

\_\_\_\_\_  
Firma:

\_\_\_\_\_  
Miembro del Tribunal

\_\_\_\_\_  
Firma:

\_\_\_\_\_  
Miembro de Tribunal

\_\_\_\_\_  
Firma:

Provincia: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Calificación: \_\_\_\_\_

## *Dedicatoria*

A mi madre porque desde que vine al mundo me ha dado todo el amor, la comprensión, el apoyo que he necesitado para cumplir mis metas alcanzadas y ha estado a mi lado en los momentos más difíciles siendo siempre mi motor impulsor.

A mi padre por todo su amor, su cariño, por estar siempre a mi lado brindándome todo su apoyo y por la educación que me ha dado.

A mi querido hermano por todo su amor y su preocupación.

A todos mis amigos porque siempre me han brindado apoyo incondicional y confianza.

A mi familia.

## *Agradecimientos*

Especialmente:

A mi madre, a mi padre y en general a toda mi familia por haberme brindado su apoyo en todo momento.

A mi tutor Ing. Asael González Betancourt por la dedicación y empeño que me ha brindado para la realización de este Trabajo de Diploma.

A todos mis profesores que han contribuido a mi formación profesional y moral.

A mis amigos y compañeros del grupo Q-51 por brindarme su apoyo, ayuda y amistad.

A todos.

**Muchas Gracias**

## *Resumen*

En el presente trabajo se identifican las principales causas de las afectaciones que se han presentado en el área de centrífuga de la Central Eléctrica Diesel MTU serie 4000 de Varadero. De las cuales se destacan los problemas los de diseño anticorrosivo de equipos y componentes como panel de control, turbinas, bombas y tuberías, agravados por la agresividad de la atmósfera, deficientes métodos de protección anticorrosiva y la falta de preparación del personal. Trayendo consigo el aumento de su deterioro por corrosión, reducción del tiempo de vida útil de las estructuras metálicas y el incremento de los gastos a la economía. Por lo que se propone un Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC) para algunos equipos y componentes del área con productos nacionales (DISTIN) certificados en laboratorios acreditados.

Atendiendo a esta problemática, se evalúa el diseño anticorrosivo y los sistemas de protección en correspondencia con las Normas Internacionales.

## *Abstract*

This paper identifies the main causes of the damages that have occurred in the area of centrifugal in Diesel Power Unit MTU 4000 in Varadero. Which highlights the problems of corrosion of equipment design and components such as control panel, turbines, pumps and pipes, exacerbated by the aggressiveness of the atmosphere, poor corrosion protection methods and the lack personnel preparation. Bringing increased deterioration by corrosion, reduced lifetime of metal structures and increased economy costs. It proposed a system of Corrosion Protection and Conservation (SIPAYC) for some equipment and components of the area with national products (DISTIN) certified in accredited laboratories.

In response to this problem, we evaluate the design and corrosion protection systems in line with International Standards.

# Índice

	Pág.
<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.</b>	4
1.1 La revolución energética y el deterioro por corrosión.	4
1.1.1 Antecedentes de la revolución energética.	4
1.1.2 Incidencia económica de la corrosión.	5
1.2 Corrosión atmosférica del acero.	7
1.2.1 Corrosión atmosférica y agresividad corrosiva.	7
1.2.2 Caracterización de la agresividad corrosiva de la atmósfera en la zona de la instalación.	8
1.2.2.1 Factores que influyen en la velocidad de corrosión.	9
1.2.2.2 Influencia de los factores climáticos en la corrosión atmosférica.	9
1.2.2.3 El ión cloruro y la corrosión atmosférica.	14
1.2.2.4 El ión sulfato y la corrosión atmosférica.	15
1.2.2.5 Agresividad corrosiva de la atmósfera.	15
1.3 Diseño anticorrosivo y su influencia en la corrosión. Enfoque en sistemas.	16
1.4 La protección anticorrosiva y conservación en instalaciones y equipos de las Centrales Eléctricas.	20
1.4.1 Enfoque en sistema de la protección anticorrosiva y conservación con recubrimientos.	21
1.4.2 Sistemas de protección anticorrosiva con pinturas.	22
1.4.2.1 Etapas del sistema de protección anticorrosiva con pinturas.	22
1.5 Protección anticorrosiva y conservación adicional.	26
1.5.1 Materiales compuestos de matriz asfáltica.	26
1.5.2 Grasas de conservación.	27
1.5.3 Cera abrillantadora e impermeabilizante.	28
1.5.4 Disolución de Fosfatado.	28
1.6 Conclusiones parciales del capítulo.	29
<b>Capítulo 2: Diagnóstico del diseño anticorrosivo, corrosión, protección y conservación</b>	<b>31</b>
2.1 Materiales y Métodos.	31

2.2	Diagnóstico de los problemas de diseño anticorrosivos y de corrosión.	31
2.2.1	Área de centrífuga	32
2.3	Diagnostico de la preparación de superficies.	42
2.4	Conclusiones parciales del capítulo.	43
<b>Capítulo 3: Propuesta de un sistema de protección anticorrosiva y conservación.</b>		<b>45</b>
3.1	Materiales y Métodos.	45
3.1.1	Ensayos acelerados en cámaras de niebla salina (NSS).	45
3.1.2	Ensayos de resistencia a la humedad y temperatura con condensación constante.	53
3.2	Propuesta de un sistema de protección anticorrosiva y conservación.	55
3.2.1	Agresividad corrosiva de la atmósfera.	56
3.2.2	Diseño anticorrosivo.	57
3.2.3	Preparación superficial previa a los recubrimientos de pintura en la instalación.	58
3.2.4	Selección del recubrimiento de pintura para el sistema.	59
3.2.5	Protección anticorrosiva adicional y conservación. Fundamentación del sistema.	60
3.3	Carta Operacional.	63
3.3.1	Carta de la Centrífuga.	63
3.4	Algunos resultados económicos esperados.	68
3.4.1	Aplicación de los productos DISTIN.	68
3.5	Conclusiones parciales del capítulo.	71
<b>Conclusiones.</b>		<b>72</b>
<b>Recomendaciones.</b>		<b>73</b>
<b>Bibliografía.</b>		<b>74</b>
<b>Anexos.</b>		<b>80</b>

## *Introducción*

Cualquier toma de medidas que tiendan a disminuir las pérdidas que se producen por corrosión y que tienen una incidencia directa en la sociedad es valorada económicamente en Cuba, por esto, en las instalaciones metálicas sometidas en lo fundamental a la acción de la atmósfera, además de otro medio agresivo como el combustible que se utilizan en el proceso se justifica la aplicación de sistemas de protección anticorrosiva y conservación para contrarrestar los daños que pueden ser disminuido pero no eliminados. Dentro de las instalaciones metálicas expuestas a la corrosión se encuentra la Central Eléctrica Diesel MTU que contiene con una serie de implementos primarios y secundarios que determinan el proceso de generación de electricidad.

La Revolución Energética en los últimos años, ha provocado un incremento en el número de instalaciones y equipos para la generación y distribución de la electricidad, todas ellas sometidas a las condiciones de la atmósfera de Cuba, propiciando un incremento en el mantenimiento en las instalaciones de los Grupos Electrónicos de nueva creación en todo el país, demandando la toma de medidas en la actividad de protección anticorrosiva.

Con su desarrollo se ha introducido de forma apreciable construcciones metálicas, con equipos y componentes de distinta procedencia. Afecta lo anterior, la agresividad corrosiva imperante que se clasifica para Cuba de media, alta, muy alta y extrema con predominio de las últimas clasificaciones que junto con los problemas de diseños anticorrosivos y la poca preparación del personal provocan el deterioro prematuro de los materiales fundamentalmente metálicos y sus sistemas de protección.

Otra de las causas del deterioro es la incorrecta utilización de los materiales empleados para la construcción de los equipos, afectando el diseño anticorrosivo. Además de la violación de las normas establecidas en el propio país, por falta de exigencia y control de la calidad de los procesos de diseño, construcción, preparación superficial, pintura, protección adicional, transportación y montaje.

Con estos antecedentes y ante la solicitud de la Dirección Nacional de Generación Distribuida, se realiza un diagnóstico que permite identificar el deterioro por corrosión y

se amplía el mismo para desarrollar un Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación para las Centrales Eléctricas Diesel MTU del país, donde se integren todos los factores que protejan los componentes estructurales de las instalaciones y equipos, todos ellos con productos en su mayoría de producción nacional, desarrollados en el CEAT, producidos en la Planta Piloto y certificados por el laboratorio LABET.

**Caso de estudio:** Central Eléctrica Diesel MTU serie 4000 de Varadero.

**Problema Científico:**

¿Cómo disminuir el deterioro por corrosión de equipos y componentes en el área de la centrífuga de la Central Eléctrica de Varadero?

**Hipótesis:**

Si se realiza una propuesta de un Sistema de Protección Anticorrosivo y Conservación será posible disminuir el deterioro por corrosión en equipos y componentes del área de centrífuga.

**Objetivo General:**

Proponer soluciones a los problemas de corrosión y protección anticorrosiva en los equipos y componentes del área de centrífuga de una Central Eléctrica Diesel MTU serie 4000.

**Objetivos Específicos:**

- 1) Diagnosticar los problemas de diseño anticorrosivo, preparación superficial, esquemas de recubrimientos de pintura, aplicación de las técnicas de conservación de los equipos y componentes en el área de centrífuga de la Central Eléctrica Diesel MTU de Varadero.
- 2) Proponer la aplicación de un sistema de protección anticorrosiva y conservación para el área de centrífuga proponiendo la carta tecnológica para su aplicación.
- 3) Evaluar económicamente la propuesta del SIPAYC en el área de centrífuga de una Central Eléctrica.

**Alcance.**

El presente trabajo aborda el estudio en una instalación de Generación Distribuida específica que opera con Diesel y pertenece a la MTU, ubicada en Varadero en una zona de alta a muy alta agresividad corrosiva de la atmósfera.

Se estudia la influencia de la atmósfera sobre la corrosión en la instalación, así como de los problemas de diseño anticorrosivos y de los problemas de aplicación de recubrimientos de pintura y de conservación adicional. Proponiendo soluciones a los problemas antes mencionados y fundamentando un sistema de protección anticorrosiva y conservación para el perfeccionamiento del trabajo de mantenimiento anticorrosivo en la Central Eléctrica.

## **Capítulo 1: Análisis bibliográfico.**

### **1.1 La revolución energética y el deterioro por corrosión.**

#### **1.1.1 Antecedentes de la revolución energética.**

Debemos saber que una Central Eléctrica Diesel MTU de nueva generación es una instalación que consta de una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Una Central Eléctrica está constituida principalmente por un área de generación, además cuenta con un área de combustibles, un área de centrífuga y un área de casetas.

La Revolución Energética en los últimos años, ha provocado un incremento en el número de instalaciones y equipos para la generación y distribución de la electricidad, todas ellas sometidas a las condiciones de la atmósfera de Cuba.

Con el desarrollo de la Revolución Energética a ocurrido un incremento en el mantenimiento en las instalaciones y equipos de las Centrales Eléctricas de nueva creación en todo el país, demandando la toma de medidas en la actividad de protección anticorrosiva.

Para toda Cuba, la agresividad corrosiva que impera se clasifica de media, alta, muy alta y extrema con predominio de las últimas clasificaciones. Lo que provoca el deterioro prematuro de los materiales y sus sistemas de protección.

En la generación distribuida, la totalidad de las instalaciones y equipos están sometidas en lo fundamental a la acción de la atmósfera (González, A., 2011).

Coincidentemente con el desarrollo de esta industria, y para favorecer la rápida puesta en funcionamiento, se han introducido de forma apreciable las construcciones metálicas, no todas ellas probadas en estas condiciones.

Una de las causas de su incidencia es la falta de tropicalización de los equipos e instalaciones que se adquieren, las que generalmente responden a las condiciones de agresividad de los países de origen. (González, A., 2009)

En ocasiones incide en lo anterior, la falta de exigencia de los especialistas que adquieren la nueva tecnología y la falta de conocimientos sobre el tema.

Otra causa es el incumplimiento de las normas establecidas en el propio país, por falta de exigencia y control de la calidad de los procesos de diseño, construcción, preparación superficial, pintura, protección adicional, transportación y montaje.

El seguimiento más sistemático de los costos de la corrosión y de la incidencia en su economía lo ha hecho Estados Unidos, siendo el propio Congreso el encargado de pedir datos que permitan su cuantificación y de trazar estrategias para la prevención y combate. Los resultados de los costos para 1998 fueron de USD 276.000 millones, equivalentes al 3,1% de su Producto Interno Bruto. (Echeverría, C.A. 2003 (a)). Los resultados arrojados para el 2002, revelan que aunque el control de la corrosión ha mejorado con respecto a décadas pasadas, se deben poner en práctica más y mejores medidas para el control óptimo de la corrosión.

En (Echeverría, C.A. et al. 2002), se hace referencia a los costos por corrosión anual estimados del 3,5% del PIB y se plantea que constituye una aproximación por defecto, si se tiene en cuenta los elevados niveles de corrosividad existentes en Cuba en comparación con otros países, tal y como se observa en los Mapas de Ibero América, (Morcillo M. et al. 2002 (a)), además de la insuficiente aplicación de medios de protección anticorrosiva.

(López, I. 2008) señala que en Cuba la Administración Central del Estado, orienta a todos sus organismos el mantenimiento y conservación anticorrosiva de los equipos y materiales; así como el control periódico de esta actividad.

No obstante, se destaca que en Cuba no se aplica lo establecido con respecto al diseño anticorrosivo, que puede ser adecuado para los países de donde provienen los equipos, pero no en las condiciones de agresividad existentes en la isla. Estos problemas incrementan los efectos corrosivos en las estructuras metálicas y las insuficiencias en la preparación de superficies y protección con recubrimiento de pintura.

### **1.1.2 Incidencia económica de la corrosión.**

Los primeros estudios relacionados con los costos de la corrosión fueron desarrollados por Uhlig en 1949, en su trabajo “Los costos de la corrosión en los Estados Unidos” (Echeverría, M. et al. 2008), en el cual realiza los cálculos relacionados con la corrosión sobre la base de métodos de prevención. En ese reporte se estiman las pérdidas anuales directas causadas por la corrosión en alrededor del 3,5 % del Producto

Nacional Bruto (PNB), tanto en los países industrializados como en aquellos en vías de desarrollo. Expresando que los mayores ahorros en los costos de la corrosión provienen de un mejor uso de los conocimientos ya adquiridos, representando una reducción de pérdidas de un 25-30 % (NACE Corporation, 2003).

Países como Japón, Reino Unido y EE.UU. han llevado a cabo estudios del costo de la corrosión y han estimado las pérdidas de la economía nacional debido a la corrosión hasta un 5% del PNB (Biezna, M. et al. 2005). Como se observa, se utiliza como criterio un porcentaje del PNB, el cual incluye todos los ingresos de un país.

En un estudio previo se asumió para Cuba el 4% del PNB, que como se observa no corresponde al mayor nivel de pérdidas reportado por (Biezna, M. et al. 2005). El porcentaje utilizado se debe a la agresividad corrosiva de Cuba y la situación económica del país (Echeverría, C.A. et al. 2002).

Incrementan el deterioro, y en consecuencia las pérdidas económicas en las Centrales Eléctricas, el inadecuado diseño y protección anticorrosiva acorde a las condiciones de agresividad, así como la falta de preparación del personal encargado del trabajo de mantenimiento (Echeverría, C.A. et al. 2001, 2005, Roberge, P. 2000; Biezna, M. et al. 2005).

Tomashov estima que el 50% de los costos por corrosión corresponden a la corrosión atmosférica (López, I. 2008), planteamiento con el que coinciden varios investigadores del tema (Betancourt, N. et al. 2002; Echeverría, C.A. et al. 2002; 2004; 2005; 2006; Echeverría, M. et al. 2007). Este planteamiento tiene gran importancia si se tiene en cuenta que la mayoría de los equipos y componentes se encuentran sometidas a la acción de la atmósfera como es el caso de la Central Eléctrica.

Las pérdidas económicas totales (directas e indirectas) por corrosión para Cuba en el año 2007 ascendieron a 1760 millones de pesos. A partir de estas pérdidas económicas, se estima que las pérdidas ocasionadas por la corrosión atmosférica, según criterio anterior, ascienden a 880 millones de pesos. La cifra antes señalada resulta de consideración y justifica la necesidad de la toma de medidas para disminuir las pérdidas por corrosión atmosférica.

## **1.2 Corrosión atmosférica del acero.**

### **1.2.1 Corrosión atmosférica y agresividad corrosiva.**

La corrosión atmosférica es un proceso de degradación y destrucción de materiales metálicos, así mismo de su estructura y propiedades, debido a la interacción con la atmósfera, caracterizada por sus valores de temperatura y humedad del aire. Este fenómeno ocurre cuando metales se encuentran expuestos en atmósferas con altas temperaturas, en ausencia de humedad sobre la superficie metálica, cuyos valores de temperatura no corresponde a la atmósfera. La mayor parte de la estructura metálica y equipos son expuestos en condiciones de intemperie y por otra parte sufren corrosión atmosférica. (Rocha, 2003).

Los fenómenos de corrosión en plantas químicas, estructuras subterráneas y, en menor grado, en agua de mar o a temperaturas elevadas parecen ofrecer mas atracción y ser mas espectaculares, la mayor parte de corrosión a equipos y estructuras metálicas se producen en la atmósfera. (Domínguez, J., et al, 1987).

Referenciado por (Morcillo, M. et al. 2002 (a); Samoilova, O.V. et al. 2005) la corrosión es considerada como la causa más importante de fallo en los materiales metálicos, y la corrosión atmosférica es la de mayor influencia. El elevado interés por el estudio de la corrosión atmosférica se debe a la frecuencia de su acción destructiva.

La clasificación de las atmósferas es de gran aplicación cuando se proyectan y ejecutan nuevas inversiones, se investiga sobre métodos de protección y se proyectan sistemas de recubrimiento (Morcillo, M. et al. 2002 (a); Albrecht, P. et al. 2003; Cole, I.S. et al. 2003 ; Rodríguez, M.T. 2004; Cook, D.C. 2005; Shifler, D. 2005; Echeverría, C.A. et al. 2005; 2008; Almeida, E. et al. 2006; Echeverría, M. et al. 2007).

Los aceros son los materiales más versátiles, menos caros y más ampliamente usados para la construcción de muchos sistemas ingenieriles. Sin embargo, una de las principales limitaciones de esos materiales es su gran corrosividad (Morcillo, M. et al. 2002 (a)). Dada a la alta corrosividad de las atmósferas a que están sometidas las construcciones metálicas, la necesidad conduce al desarrollo de recubrimientos anticorrosivos de gran eficiencia (Almeida, E. et al. 2006). Los ambientes corrosivos afectan la durabilidad del material, reduciendo así el rendimiento o funcionamiento y vida de servicio de las estructuras metálicas. Por tanto, la velocidad de corrosión

proporciona las bases para decidir las medidas preventivas requeridas para proteger las estructuras (Bhaskar, S. et al. 2004).

Por tanto se requiere clasificar la agresividad corrosiva de la atmósfera en los equipos y componentes que serán objeto de protección anticorrosivo.

### **1.2.2 Caracterización de la agresividad corrosiva de la atmósfera en la zona de la instalación.**

La atmósfera es uno de los medios corrosivos naturales más ampliamente difundido y es, precisamente, en este medio donde ocurre la mayor parte del daño por corrosión a equipos y estructuras metálicas, según demuestran los estudios realizados por varios autores (Domínguez, Tomachov, Echeverría, Corvo). Tomachov plantea que alrededor de un 80%(y tal vez más) de las estructuras metálicas están expuestas a la atmósfera y alrededor de un 50% de las pérdidas por corrosión se deben a la corrosión atmosférica.

La corrosión atmosférica presenta sus particularidades en cuanto a los mecanismos de acción a pesar de ser una corrosión electroquímica, pues su acción no se explica en muchos casos tomando como base la termodinámica y la cinética de este tipo de corrosión en presencia de electrolitos, lo cual motiva el análisis de la influencia de los diferentes factores teniendo en cuenta esta particularidad. (Echeverría C. A. et al., 2008).

Se plantea que el conocimiento más exacto posible, acerca de los factores que influyen en la agresividad corrosiva de la atmósfera, ayudaría a la planificación de las medidas anticorrosivas para la protección de metales y por ende a la disminución de las pérdidas o costos por corrosión. (López, I. 2008)

Según (Echeverría, M. et al. 2007) para cada ambiente, es necesario tener en cuenta la influencia sobre los materiales, de las condiciones atmosféricas como el oxígeno; la humedad; los contaminantes: SO<sub>2</sub>, HCl, NO<sub>x</sub>, etc.; la radiación solar global, la formación de rocío, el tiempo de humectación de la superficie; el calentamiento de la superficie, la acumulación de iones de naturaleza ácida (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl) en la película acuosa depositada sobre el objeto.

“La corrosión atmosférica, que es la causa más frecuente del deterioro de los metales y aleaciones, es posible únicamente cuando la superficie metálica está humedecida”, señala (Rodríguez, D. 2006)

### **1.2.2.1 Factores que influyen en la velocidad de corrosión.**

Según (Morcillo, et al. 2002 (b)) los principales factores que operan en la corrosión atmosférica se clasifican como:

Factores externos:

- Meteorológicos y de contaminación del aire.
- Condiciones de exposición que permitan el libre acceso del medio corrosivo a la superficie expuesta a la atmósfera, almacenamiento en caseta o bajo abrigo ventilado, en las cuales el metal sólo se humidifica por el rocío o el contacto accidental con la lluvia.

Factores internos:

- Como naturaleza y propiedades electroquímicas del metal, así como características de los productos de corrosión.

Cada uno de estos factores juega un rol en la ocurrencia y aceleración de la velocidad de corrosión. Pero el efecto combinado de varios de ellos, es lo que causa las mayores pérdidas.

Independientemente del tipo de clima tropical o templado, la salinidad atmosférica y la distancia a la costa son un factor determinante en la corrosión atmosférica y en este caso el viento es el encargado de transportar los contaminantes desde el mar.

No obstante, se ha estudiado cada uno de estos factores por separado y la posible influencia en la velocidad de corrosión.

### **1.2.2.2 Influencia de los factores climáticos en la corrosión atmosférica.**

Los parámetros que deben ser considerados como importantes para los cambios climáticos son la temperatura y humedad relativa del aire, la radiación solar, las precipitaciones, velocidad de vientos y su dirección predominante, los contaminantes (parámetros aeroquímicos), acciones mecánicas, acciones químicas por fuerzas naturales, partículas de polvo, así mismo manipulaciones del ambiente por distintas vías. Estos factores pueden directamente afectar la corrosión del metal expuestos en condiciones exteriores o interiores. (Suveaut, O. 2006)

Parámetros más importantes relacionados por la combinación de:

- ✓ Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR): habitualmente descrito como el complejo T-HR. La humedad es una medida del contenido de vapor de agua en el

gas (aire) y se expresa en porcentajes (%). Sus valores son función viceversa de la temperatura, es decir, cuando la HR aumenta, la T disminuye y en una forma viceversa.

- ✓ Precipitación pluvial: valores anuales de las precipitaciones pluviales.
- ✓ Tiempo de humectación (TDH): durante éste existe humedad en la superficie del metal y la corrosión puede desarrollarse. Esta capa de humedad puede ser generada por lluvia, niebla, nieve, condensación capilar, rocío u otros fenómenos similares.

➤ **Humedad Relativa (HR).**

Uno de los tipos de corrosión atmosférica a señalar es la húmeda, donde el desarrollo de su mecanismo, que se presenta bajo la acción de delgadas películas de humedad no visibles (Domínguez, J., et al, 1987). Lo cual tiene lugar para humedades relativas inferiores al 100 % y superiores al 50 %, según refiere (Echeverría, M. et al. 2009).

De acuerdo con lo antes tratado, se comprende que la presencia de humedad sobre la superficie metálica y el espesor de la capa de agua condensada en la misma, incrementa considerablemente la velocidad de corrosión, e incluso se refieren resultados de mayores incrementos en zonas de humedecimiento y secado periódico, en lo que determina la falta de establecimiento de capas de productos de corrosión protectoras. No obstante se insiste que lo que determina en la magnitud de la corrosión atmosférica es el tiempo en que permanece la superficie metálica húmeda, destaca (Domínguez, J., et al, 1987).

➤ **Temperatura (T).**

Según (Domínguez, J., et al, 1987) cuando la atmósfera es húmeda, un aumento de su temperatura suele aumentar la velocidad de corrosión atmosférica, siendo esto para humedades relativas cercana a la saturación. También cuando la temperatura ambiente es más baja se observa una velocidad de corrosión apreciable debido a la condensación del agua sobre las estructuras metálicas.

Por otra parte (Tomashov, ND., 1979) refiere a que en la temperatura de la superficie metálica, la que puede alcanzar niveles considerables (superiores a 70 0 C), bajo la acción de la radiación solar, condiciones en las cuales se elimina toda humedad.

De acuerdo con lo anterior en Cuba el efecto de la temperatura en la corrosión atmosférica no resulta determinante debido a las condiciones del ambiente en que se encuentra. Las variaciones no son considerables y su efecto fundamental se manifiesta bajo la acción de la radiación solar (Echeverría, C.A. et al. 2002).

Por lo tanto al aumentar la temperatura de la superficie metálica, disminuye la velocidad de corrosión e incluso, el proceso corrosivo se detiene en ausencia de humedad.

Por lo antes expuesto se puede observar que en muchos casos la corrosión atmosférica bajo techo simple es mayor que a la intemperie.

➤ **Tiempo de humectación (TDH).**

Este parámetro es de gran importancia, puesto que es una medida directa para el tiempo real de corrosión o de operación de las múltiples celdas de corrosión en la superficie del metal.

Referenciado por (Espada, L.R. 2005) habitualmente el TDH es calculado en horas, de acuerdo con la norma internacional ISO 9233: 92, e incluye el complejo diario de  $T - HR$ , utilizando el valor de  $HR = 80\%$  como valor crítico ( $T \geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), cuando inicia la condensación de agua sobre la superficie del metal. Al llegar la HR a  $90\%$  y  $T < 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  se alcanza el punto de rocío y la capa húmeda es más gruesa. Este cambio induce una alteración en la velocidad de corrosión del metal.

. Cuando la película de humedad es mas fina, ella representa una barrera menor para la difusión molecular del agente oxidante (el oxígeno del aire) desde el ambiente gaseoso hacia la superficie metálica y la capa de humedad puede ser prácticamente saturada de oxígeno disuelto. Su concentración y proceso de difusión se encuentran mas dificultados en el caso de una película de condensación más gruesa (Espada, L.R. 2005)

Por otro lado es importante analizar en que intervalos de temperatura se da el TDH, ya que los niveles de temperatura determinan la cinética del proceso de corrosión, es decir su velocidad de corrosión. Una diferencia de 10 grado en la temperatura del ambiente, puede conllevar a un orden de aumento de la velocidad de corrosión.

➤ **Efecto de las lluvias.**

Referido por (Corvo, F. et al., 1995) en trabajos desarrollados como parte del proyecto MYCAT, plantean que las precipitaciones (lluvia, niebla, rocío, nieve), tienen una

influencia marcada en el proceso corrosivo de los metales, debido al efecto de lavado de los contaminantes acumulados sobre la superficie metálica, lo que puede provocar un retardo del proceso corrosivo.

Por otra parte las precipitaciones aumentan el tiempo de humectación del metal, que prolonga el desarrollo de la corrosión. Así mismo, éstas pueden traer consigo especies disueltas que pueden provocar la corrosión, sobre todo en superficies donde el agua puede estancarse. La concentración de contaminantes en la lluvia, puede variar de un lugar a otro. Por lo general, las gotas de lluvia más pequeñas tienen una mayor cantidad de agentes corrosivos.

Otro efecto provocado por las precipitaciones es la disolución de los productos de corrosión formados sobre la superficie metálica. Corvo, cita como ejemplo el caso de los carbonatos formados en Zinc, que al disolverse dejan expuesta la superficie metálica, a un nuevo ataque corrosivo.

Según (González, A., 2011) las lluvias, la niebla y el rocío tienen una influencia marcada en el proceso corrosivo de los metales, debido al efecto de lavado de los contaminantes acumulados sobre la superficie metálica, lo que puede provocar un retardo del proceso corrosivo.

Así mismo, éstas pueden traer consigo especies disueltas que pueden provocar la corrosión, sobre todo en superficies donde el agua puede estancarse. La concentración de contaminantes en la lluvia, puede variar de un lugar a otro (Suveaut, O., 2006).

Para determinar en este trabajo la posible correlación entre este factor y la velocidad de corrosión en el acero en condiciones de intemperie de las obras de alta protección estudiadas se considera el efecto de las lluvias.

➤ **Influencia de los vientos.**

Según (Echeverría, C.A. et al. 2002) en Cuba el encargado de transportar los contaminantes es el viento. Destaca (Echeverría, C.A. et al. 2006) que la velocidad del viento puede promover un doble efecto, si se conjuga con la lluvia ya que en ausencia de esta, una alta velocidad del viento produce un efecto de secado sobre la superficie y por ende un decrecimiento en la velocidad de corrosión. Por su parte, un efecto combinado de la lluvia con el viento, da lugar al lavado de la superficie del metal, es

decir una remoción de los contaminantes que aceleran el proceso corrosivo y por tanto también disminuye la velocidad de corrosión.

Según (Feliú, S. et al. 1971, Echeverría, C.A. et al. 2002) refiere que la velocidad de corrosión depende de la velocidad y dirección del viento, principalmente en atmósferas marinas.

El esclarecimiento de esta influencia resulta determinante en los niveles de corrosividad que se reportan en Cuba para zonas consideradas libres de contaminación y donde las correlaciones entre las pérdidas por corrosión y el viento dan la medida de la influencia del aerosol marino.

➤ **Influencia del aerosol marino en la corrosión.**

La corrosión atmosférica en los países de climas tropicales húmedos como México, Taiwán, Egipto, Vietnam, India y Cuba ha sido abordada por varios investigadores, donde se determina la influencia en la corrosión del aerosol marino. (Echeverría, C.A. et al. 2000; Echeverría, C.A. et al. 2006).

El aerosol marino está constituido por agua de mar o sal de mar que en pequeñas partículas son arrastradas por los vientos desde la superficie del mar y transportado a grandes distancias y grandes alturas. Para los países costeros y las islas, este constituye uno de los factores que mayores influencias tiene en las elevadas pérdidas por corrosión que se producen en estas áreas. En las condiciones climáticas de Cuba, este factor resulta determinante, aspecto destacado por. (Echeverría, C.A. et al. 2000)

En el caso de Cuba la influencia de los cloruros, transportados por el aerosol marino, es muy significativa en la elevación de la velocidad de corrosión y una vez que ya está formada la capa, existe un proceso de adsorción competitiva entre los cloruros y los sulfatos.

Por otra parte, en cuanto a las condiciones ambientales de Cuba se ha planteado que se distinguen 2 períodos cualitativamente diferentes en el año, uno es la temporada invernal o de seca (octubre a marzo), con gran influencia de los vientos del norte-nordeste que producen grandes concentraciones de aerosol marino en el aire y el otro es la temporada de lluvias o de verano (abril a septiembre), donde los vientos provenientes del sur son de poca envergadura (Echeverría, C.A. et al. 2000).

En (Echeverría, C.A. et al. 2002) se demuestra la influencia del aerosol marino en la magnitud de la corrosión atmosférica, coincidiendo casi la totalidad de los autores, en las publicaciones más recientes.

### **1.2.2.3 El ión cloruro y la corrosión atmosférica.**

La influencia del ión cloruro en la magnitud de la corrosión atmosférica, se corrobora por las correlaciones que se obtienen entre la velocidad de deposición de cloruros y la velocidad de corrosión como ha demostrado (Echeverría, C.A. et al. 2002).

La deposición de iones  $\text{Cl}^-$  provoca una compactación de la capa de óxidos, pero también eleva la conductividad de la capa del electrolito. Al interactuar con la superficie del metal provoca un ataque continuo en el mismo como consecuencia de que el hierro no forma cloruros básicos estables.

La corrosión atmosférica del acero es un proceso de naturaleza electroquímica, bastante conocido, por lo que en presencia de oxígeno y humedad conduce a la formación de una capa de herrumbre.

La cinética del proceso de corrosión por cloruros, abordado por (Echeverría, C.A. et al. 2002.) se explica a partir del ciclo de formación de herrumbre por cloruros, que consta de los siguientes pasos:

- El cloruro se deposita sobre la superficie metálica, formando con el acero, cloruro de hierro  $\text{Fe Cl}_2$ .
- El cloruro de hierro (II) en presencia del oxígeno del aire y la humedad, se forma óxido férrico que precipita sobre la superficie metálica, formando la herrumbre y originando ácido clorhídrico.
- El ácido clorhídrico ataca el metal y forma nuevamente cloruro de hierro (II).

Es importante observar que el ataque fundamental sobre el metal se debe a la acción del ácido, por lo cual se incrementa apreciablemente la velocidad de corrosión.

El cloruro de hierro repite el ciclo, por lo que basta con un solo ión cloruro para que se desencadene el proceso corrosivo. Debido a esto la corrosión se incrementa de forma casi proporcional a la salinidad.

#### **1.2.2.4 El ión sulfato y la corrosión atmosférica.**

Tomashov determina que del total de sales que contiene el agua de mar, el 7,68% en peso corresponde al ión sulfato (Echeverría, M. et al. 2009), realizado por Butler y citado por (Echeverría, C.A. et al. 2002) que por esta vía se emiten a la atmósfera 70 millones de toneladas anuales de sulfato, procedentes del aerosol marino.

El mismo autor refiere que la producción de dióxido de azufre es de 130 millones de toneladas al año, lo que corresponde en emisiones de ión sulfato a 86 millones de toneladas, por lo cual no resulta despreciable el sulfato procedente del aerosol marino, máxime cuando no se reporta en Cuba una contaminación apreciable por dióxido de azufre.

En estudios sobre corrosión atmosférica se ha demostrado, que en varias partes del mundo, la corrosión atmosférica es más rápida cuando el contenido de dióxido de azufre en la atmósfera es más alto. (Echeverría, C.A. et al. 2006). Una molécula de dióxido de azufre permite la formación de 15 a 40 moléculas de herrumbre.

Al referirse al proceso cíclico de formación de herrumbre por dióxido de azufre, (Echeverría, C.A. et al. 2006) haciendo referencia a Evans y Taylor, explica que están presentes dos mecanismos, el Ciclo de Regeneración Ácida y el Ciclo electroquímico.

En investigaciones recientes de la corrosión atmosférica en Cuba, no se ha logrado demostrar la influencia directa del sulfato en la corrosión del acero a partir de correlaciones matemáticas (Berenguer, DC. 2002).

#### **1.2.2.5 Agresividad corrosiva de la atmósfera.**

Teniendo en cuenta los factores que influyen en la velocidad de corrosión, mencionados anteriormente y haciendo énfasis en la influencia determinante del aerosol marino en las condiciones climáticas de Cuba y sin dejar atrás otros factores de importancia como la humedad, los vientos, temperatura, etc.; queda demostrado que la clasificación de la agresividad corrosiva de la atmósfera es importante, coincidiendo así la mayoría de los investigadores,

La agresividad corrosiva de la atmósfera es un factor de gran importancia cuando se proyectan y construyen nuevas inversiones, se realizan investigaciones sobre métodos de protección y se determinan sistemas de recubrimiento, entre otras aplicaciones.

(UNE-EN ISO 12 944-2. 1998; Echeverría, C.A. et al. 2000; Echeverría, C.A. et al. 2002; López, I. 2008).

(Echeverría, C.A. et al. 2004), clasifica las atmósferas de acuerdo con el grado de contaminación y la naturaleza de los contaminantes, clasificándose en: industrial, marina, urbana, rurales, urbanas-marinas, industriales-marinas, urbanas industriales, rurales interiores y otras combinaciones de éstas. Donde se plantea que la atmósfera más corrosiva es la industrial altamente contaminada, y la menos corrosiva la atmósfera rural pura.

(Echeverría, C.A. 2000), señala que estas clasificaciones no necesariamente son una descripción acertada como reflejo de la agresividad de la atmósfera desde el punto de vista de la corrosión y expone que la agresividad de un lugar determinado está dada en primer lugar por las condiciones netamente climatológicas y en segundo lugar, por determinadas condiciones de contaminación aeroquímica específica, lo que hace que los datos de corrosión varíen dentro de un determinado rango.

La norma (ISO 9223: 1992) y el Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba (Anexo 1), establecen categorías de agresividad corrosiva de la atmósfera, basándose en la pérdida de peso de acero al carbono, zinc, cobre y aluminio.

Partiendo de lo citado anteriormente, se concluyó que la agresividad corrosiva de la atmósfera en la Central Eléctrica Diesel de Varadero es extrema ya que se encuentra a menos de un kilómetro de la costa norte y en una zona no apantallada, lo que coincide con estudios realizados por (Echeverría, CA., et al. 2003 (b)) en zonas cercanas al establecimiento.

### **1.3 Diseño anticorrosivo y su influencia en la corrosión. Enfoque en sistemas.**

El diseño apropiado constituye un elemento de importancia, que de conjunto con la selección de materiales compatibles y las medidas de control de la corrosión, determinan que se prolongue o no la vida útil de las estructuras; puesto que puede evitar, demorar o disminuir la ocurrencia de muchas formas de corrosión. (Shifler, D. 2005).

Plantea (Echeverría, C.A. 2003 (a)) que para conocer los diferentes problemas de diseño anticorrosivo que presentan las instalaciones y equipos, hay que consultar de forma obligada las Normas Internacionales, en particular las Normas (UNE-EN ISO

12944 de la 1 a la 8: 1998). Estas normas en su conjunto, establecen los criterios básicos de diseño, que deben cumplir como consideración técnica las superficies y los equipos de forma general. En esto coincide (Echeverría, M. et al. 2008). Todo lo anterior es de necesario cumplimiento a la hora de proyectar cualquier proyecto.

De acuerdo a esos criterios, las superficies de las estructuras de acero expuestas a los agentes corrosivos deben ser pequeñas en extensión y tener el número más pequeño posible de irregularidades (superposiciones, esquinas, bordes). Además, las uniones deben ser realizadas preferiblemente mediante soldadura continua, en vez de atornilladas o ribeteadas, para conseguir la superficie lo más uniforme posible. En estas equipos y componentes es imprescindible el cumplimiento de estas normas.

Según (Echeverría, CA., et al. 2003 (b), Echeverría, M. et al. 2009), es posible encontrar en conjunto varios problemas de diseño anticorrosivo de los que se citan en las normas como son:

**Tratamiento de orificios:** Orificios estrechos, hendiduras ciegas y uniones solapadas son lugares potenciales para ser atacados por la corrosión procedente de la retención de humedad y suciedad. La corrosión de este tipo debe normalmente, evitarse mediante el sellado, siempre y cuando se le atomice algún tipo de grasa anticorrosiva líquida. Otra solución sería aplicar técnicas de ensamblaje mojado creando una barrera efectiva contra la entrada de humedad o fluidos en las uniones solapadas.

**Retención de humedad, depósitos y agua:** Deben evitarse configuraciones superficiales en las que el agua pueda quedar retenida. Este problema se evita aplicando alguna masilla que permita crear una superficie inclinada y/o practicando un orificio de drenaje.

**Prevención de la corrosión galvánica:** Cuando exista continuidad eléctrica entre dos metales de diferente potencial electroquímico en presencia de humedad (electrolito), tendrá lugar la corrosión del metal menos noble de los dos. Una solución a este problema es la separación de ambos metales mediante la aplicación de una pintura que funcione como barrera anticorrosiva.

**Entallas:** Las entallas en refuerzos, almas o componentes de construcción similares deben tener un radio mínimo de 50 mm, para permitir la preparación adecuada de la superficie y la aplicación de un sistema de pintura protector.

**Refuerzos:** Cuando se requieren refuerzos es esencial que la intersección entre el refuerzo y los componentes colindantes estén soldados a todo alrededor, para prevenir la formación de huecos. El diseño de refuerzos no debe permitir la retención de depósitos, ni agua, pero sí el acceso para la preparación de la superficie y la aplicación de un sistema de protector.

**Bordes:** Los bordes redondeados son deseables, para posibilitar la aplicación de la capa protectora de modo uniforme, las capas protectoras en los bordes agudos son además más susceptibles al deterioro. Por consiguiente, todos los bordes agudos deberían redondearse o biselarse desde el proceso de fabricación.

**Imperfecciones en la superficie de las soldaduras:** Las soldaduras deben estar libres de imperfecciones que son difíciles de cubrir eficientemente con un sistema de pintura protector.

**Conexiones con pernos (antideslizantes con pernos de alta resistencia:** Las superficies de fricción en conexiones antideslizantes deben prepararse, previo al montaje, hasta un grado de preparación similar al de Sa 2 ½ con una rugosidad acordada y en la superficie de fricción puede aplicarse un material protector con un coeficiente de rozamiento apropiado.), (en las **precargadas:** Se debe prestar una atención especial a la especificación de películas de pinturas, los pernos, las tuercas y las arandelas deben protegerse contra la corrosión para obtener la misma durabilidad que la protección de la estructura.)

**Áreas cerradas y componentes huecos:** Dado que las áreas cerradas (interior accesible) y los componentes huecos (interior inaccesible), constituyen una sección especialmente bien adaptada a la protección frente a la corrosión ya que reducen la superficie expuesta, siempre que estén provistos de aberturas de drenaje y estén protegidos de un modo efectivo contra la corrosión. Los bordes deben sellarse por medio de soldaduras continuas, y cualquier abertura debe estar provista de cubiertas selladas con el fin de impermeabilizar las superficies al aire y a la humedad. Estas soluciones no se realizan en las condiciones climáticas de Cuba, donde se emplea por lo general acero estructural. (Echeverría, M. et al. 2009).

**Accesibilidad:** Los componentes de acero deben diseñarse para que sean accesibles a la hora de aplicar, inspeccionar y mantener el sistema de pintura protector. Hay que

lograr separaciones entre componentes superiores a 50 mm y profundidades menores de 100mm, para garantizar todas las operaciones. De no poder cumplir con las medidas señaladas para la separación entre los componentes hay lograr por cualquier forma convertir estas áreas inaccesibles en componentes huecos con una adecuada protección anticorrosiva para lograr una protección efectiva a lo largo de toda la vida en servicio de la estructura.

Cuando las estructuras están en explotación, deben poseer una protección efectiva a lo largo de la vida de servicio. Ello no se garantiza solo con la aplicación de pinturas y requiere de otra protección adicional, señalada en la norma (UNE-EN ISO 12 944-5, 1998) pero no precisada con lo que concuerda (Echeverría, M. et al. 2009) y demostrado en la practica.

El diseño anticorrosivo es un aspecto importantísimo a considerar desde el diseño del equipo o estructura ya que determinará en gran medida las pérdidas por corrosión y protección. En esto coinciden (Echeverría, CA., et al. 2003 (b); Shixer, DA. 2005).

Frecuentemente los problemas de diseño son detectados cuando la estructura o equipo ya está en pleno funcionamiento y ello conlleva a que las posibles soluciones para eliminarlo o atenuarlo sean menores o a veces no existan posibilidades. (Cook, D.C. 2005).

Entre las soluciones propuestas se señala la aplicación de productos anticorrosivos, con o sin modificaciones del diseño existente, para los problemas que se detecten durante el servicio del equipo o estructura (Echeverría, C.A. et al. 2001; 2003 (c); 2005). Los productos que se proponen son recubrimientos anticorrosivos, diferentes a las pinturas, que confieren una protección adicional efectiva, y que permiten el uso de técnicas de ensamblaje mojado, para crear una barrera sellante que complementa al sistema de protección anticorrosiva con pintura.

Del análisis realizado del diseño anticorrosivo, se observan muy pocas referencias a soluciones propuestas, que incorporen técnicas y productos con enfoque de sistemas de protección, lo que resulta de interés para el desarrollo del presente trabajo.

#### **1.4 La protección anticorrosiva y conservación en instalaciones y equipos de las Centrales Eléctricas.**

Todos en la sociedad moderna son afectados de alguna manera por el fenómeno de liberación de energía o corrosión, dado que el hombre toma los metales de la naturaleza, que por lo general se encuentran en forma combinada y los transforma para obtener metales puros. Sin embargo, este proceso no es termodinámicamente favorable, ya que el metal tiende a retornar a su estado primitivo oxidándose, por lo tanto, el proceso de corrosión es inherente al propio metal. (González, A. 2011)

El ser humano sólo puede actuar mitigando los efectos de la corrosión e intentan de alguna manera prevenir que se revierta el material bajo su control a su inutilizable estado original, utilizando para ello medidas anticorrosivas, por lo que el control de este proceso de reversión es la meta de la ingeniería de corrosión, refiere (Espada, L.R. 2005).

Según (Otero, E. 2000) el deterioro de los materiales es una preocupación para fabricantes y usuarios y la conservación de los recursos es un aspecto de suma trascendencia para las economías nacionales. Los problemas que originan la corrosión y degradación tienen que ser infundidos en el ánimo de los profesionales de todas las disciplinas relacionadas con la ingeniería y las ciencias aplicadas. El concepto "conservación" es uno de los que hoy poseen mayor vigencia. En esta sociedad tecnificada, el alargar la vida en servicio de los metales, y en general, de los materiales, debe convertirse en algo prioritario. Tomar conciencia de este hecho es el primer paso que puede ayudar a la conservación

El concepto conservación es mucho más amplio y abarcador que el término protección anticorrosiva, relacionado con las acciones diversas que se realizan para proteger a los metales de la corrosión. El concepto conservación se aplica a todos los materiales, incluyendo los recubrimientos de pintura que pueden ser conservados contra el deterioro, a los equipos, estructuras y las instalaciones en general. En el presente trabajo se insiste en la protección anticorrosiva y conservación para lograr que el sistema que se aplique garantice la conservación.

Reconocer los síntomas y el mecanismo de un problema de corrosión es una etapa preliminar importante en el camino de encontrar una solución conveniente. Existen

básicamente cinco métodos de control de la corrosión: 1) Cambiar a un material más adecuado, 2) Modificaciones del ambiente, 3) Uso de recubrimientos protectores, 4) Aplicación de protección catódica o anódica y 5) Modificaciones del diseño del sistema o componente (Roberge, P. 2000).

Existen tres categorías generales de control de la corrosión: recubrimientos de superficie, sistemas catódicos y el uso de materiales resistentes a la intemperie. El tipo de estructura y el ambiente determinarán cual de los tres acercamientos es más adecuado y económico. (Albrecht, P. et al. 2003)

Los recubrimientos protectores se emplean ampliamente para el control de la corrosión. El principio esencial de acción es aislar o separar al metal del medio corrosivo (Morcillo, M. 2002 (a); Rodríguez, M.T. 2004; Espada, L.R. 2005; Shifler, D. 2005; Schmidt, D.P. et al. 2006). Existe una gran variedad de recubrimientos que pueden ser divididos en recubrimientos metálicos, inorgánicos y orgánicos (Morcillo, M. 2002 (b); Blascos, M. 2004). El aislamiento del acero del medio mediante, la utilización de recubrimientos y en particular con recubrimientos orgánicos (pinturas), es el método de protección más empleado (Morcillo, M. 2002 (b)). Las razones fundamentales son su bajo costo y su facilidad de aplicación.

En la presente investigación se centra el estudio en la evaluación de recubrimientos, para la protección anticorrosiva y conservación, aplicados como sistema.

#### **1.4.1 Enfoque en sistema de la protección anticorrosiva y conservación con recubrimientos.**

Los recubrimientos protectores se emplean ampliamente para el control de la corrosión, proporcionando una protección de larga duración bajo un amplio rango de condiciones corrosivas. El principio esencial de acción es aislar o separar al metal del medio Corrosivo (Roberge, P. 2000; Fragata, F. et al. 2002; Morcillo, M. et al. 2002 (b); Ochoa, et al. 2005).

Un sistema de recubrimiento protector es la suma total de capas de materiales metálicos y/o pinturas o productos relacionados aplicados sobre un sustrato para protegerlo contra la corrosión. Es posible además aplicar medidas de protección adicionales u otras medidas. Esta definición constituye el enfoque más acabado sobre

sistema de protección con recubrimientos, aunque la norma no incluye otros recubrimientos diferentes a las pinturas y no utiliza el término conservación.

No siempre un único método de protección garantiza que no se deteriore el material, sino que se requiere de la combinación de métodos de protección o medidas adicionales. Ello se logra con la aplicación de un material que puede ser fácilmente aplicado y removido, y que será reemplazado periódicamente durante la vida del sistema; el cual se clasifica en compuesto de unión y sellante y compuesto que desplaza el agua. El primero se usa para la protección en uniones (solapadas, juntas o uniones a tope), donde excluyen o separan la suciedad y la humedad. Los compuestos que desplazan el agua proporcionan una protección suplementaria a los sistemas de pintura que se han deteriorado o se dañan en servicio. Se aplican como fluidos y son usualmente inmiscibles con el agua, desplazándola de las superficies, grietas o hendiduras. Son fluidos que contienen varios solventes e inhibidores y deben exhibir excelentes características de desplazar el agua y crear una capa delgada y oleosa.

Del análisis realizado, se denota que muy pocos autores abordan el enfoque en sistema. Aspecto de interés que será desarrollado en la presente investigación.

#### **1.4.2 Sistemas de protección anticorrosiva con pinturas.**

La aplicación de pinturas es un método de protección muy utilizado. Durante los años 1990 ocurrió un cambio radical en las tecnologías de pinturas que motivó la reformulación y aparición de nuevas variantes que no agredieran al medio ambiente (Almeida, E. et al. 2006).

##### **1.4.2.1 Etapas del sistema de protección anticorrosiva con pinturas.**

Seguidamente se desarrollan las etapas del sistema de pintura que establece la norma, exceptuando aquellas que por el alcance del presente trabajo no son objeto de estudio.

- **Clasificación de ambientes.**

La determinación y clasificación de la agresividad corrosiva de la atmósfera en la zona donde se va a ejecutar el proyecto de protección anticorrosiva resulta decisivo (Echeverría, C.A. 2003 (c); Echeverría, C.A. et al., 2005; UNE-EN ISO 11303: 2009). Debido a que determina las recomendaciones de diseño, tipos y preparación de superficies, posibles esquemas de pintura a seleccionar, tipos de ensayos a realizar en el laboratorio así como desarrollo de especificaciones para obra nueva y trabajos de

mantenimiento. De manera que esta etapa determinará la durabilidad del sistema de protección anticorrosiva con pintura.

Es muy importante definir la estación del año en que se llevará a cabo el sistema de protección con pintura, preferentemente verano o lluvia para lograr que las superficies queden libres de contaminantes. Ello influirá favorablemente en la durabilidad del recubrimiento.

- **Consideraciones de diseño.**

Es importante definir y tener en cuenta, desde la etapa de elaboración del proyecto, los problemas de diseño anticorrosivo que se presentan pues son causantes de la mayoría de las fallas que se originan en los recubrimientos y que motivan el deterioro prematuro de estos.

Al respecto la norma (UNE-EN ISO 12 944-3: 1998) que se toma como referencia, no propone soluciones a los diferentes problemas de diseño que relaciona, pues solo refiere aplicar una protección adicional sin especificar tipos de productos.

- **Tipos y preparación de superficies.**

Para la elección del método de preparación de la superficie más apropiado, es necesario considerar el estado inicial de la superficie a proteger, el material de construcción, el grado de la suciedad y oxidación. Además, se debe tener consideraciones económicas, tecnológicas, de ubicación y de disponibilidad de mano de obra especializada (UNE-EN ISO 12 944-4: 1998).

La etapa de preparación superficial es una de las más importantes para que un esquema de pintura logre el desempeño esperado (Morcillo, M. 2002 (b); Echeverría, C.A. et al. 2005), el cual obedece en un 90% de su eficiencia. Siempre que se pueda se debe utilizar el método a chorro, por ser el más efectivo, rápido y ofrecer mayor durabilidad.

Según (Morcillo, M. et al. 2002 (a), Ochoa, et al. 2005), esta etapa tiene una doble misión: limpiar la superficie y conferir cierta rugosidad para favorecer el anclaje de la pintura, lo que potencia la adherencia del recubrimiento a la base metálica.

Mientras mejor es la preparación de superficie, mayor será la durabilidad del sistema (Echeverría, C.A. et al. 2000; Roberge, P. 2000; Morcillo, M. 2002 (b)), con una superficie bien preparada se logra mejor comportamiento con un recubrimiento de

pintura de “baja resistencia” que con uno de “alta calidad” si se aplican a superficies mal preparadas.

En las Centrales Eléctricas no se pueden aplicar los métodos de choreado que son los más efectivos, por lo que hay que aplicar un método manual mecánico para lograr una preparación superficial del tipo St y posterior aplicación de fosfatado para lograr una preparación cercana a las exigidas en las normas internacionales.

El fosfatado penetra en los intersticios, convierte el óxido en sales protectoras, sella y forma una capa protectora temporal, resistente a deformaciones, a la acción agresiva de la atmósfera y que mejora el anclaje del recubrimiento. Puede ser aplicada sobre recubrimientos de pintura que muestren partes oxidadas, eliminando la mancha de óxido en la pintura y sin afectar el recubrimiento.

En el presente trabajo se valora como alternativa el fosfatado en la preparación superficial posterior al tratamiento manual mecánico.

- **Sistemas de pinturas protectores.**

La elección de las pinturas incluye varios aspectos, dentro de los más importantes están la durabilidad, extensión del trabajo a realizar, condiciones de pintado (temperatura, humedad relativa, pintura previa y tiempo disponible para el pintado) y precio unitario de la pintura. Habitualmente las pinturas no se aplican en una sola capa, sino que lo hacen en una serie de ellas, cada una de las cuales poseen características específicas (Morcillo, M. 2002 (a); Echeverría, C.A. 2003 (a)).

Un sistema de pintura está constituido por las siguientes capas:

**Imprimación:** capa en contacto directo con el sustrato metálico provocando la adherencia al sustrato metálico, el control de la corrosión y la adherencia a la capa intermedia.

**Intermedia:** se aplica a continuación de la capa de imprimación y su composición generalmente no difiere de ésta. Su principal función es aumentar el espesor total del sistema de pintura, por lo que es importante que tenga una elevada compatibilidad con las capas de imprimación y acabado.

**Acabado:** capa que está en contacto directo con el medio ambiente, por tanto, será la responsable de la resistencia a los agentes atmosféricos además de cumplir exigencias

estéticas (UNE-EN ISO 12 944-5: 1998; Echeverría, C.A. 2003 (c); Rodríguez, M.T. 2004; Schmidt, D.P. et al. 2006).

La incompatibilidad entre las pinturas que conforman el sistema es un factor determinante en la calidad del recubrimiento (Echeverría, C.A. et al. 2001; 2005; Fragata, F. et al. 2006).

La Norma (UNE-EN ISO 12 944-5:1998) ofrece varios esquemas de pinturas en función de la agresividad corrosiva del medio, cada uno de los cuales define el grado de preparación superficial, tipo de pintura, número de capas, espesor y durabilidad. La durabilidad de un sistema de pintura protector depende de varios parámetros tales como: tipo de sistema de pintura, diseño de la estructura, condición del sustrato antes de la preparación, la efectividad de la preparación de superficie, la calidad de la aplicación y las condiciones de exposición antes y durante la aplicación. Por ello se establecen tres niveles de durabilidad: **Durabilidad Baja:** Sistema sin afectación apreciable de 2 a 5 años, **Durabilidad Media:** Sistema sin afectación apreciable de 5 a 15 años y **Durabilidad Alta:** Sistema sin afectación apreciable por un período superior a 15 años. En la actualidad, los sistemas que más se emplean en Cuba, sobre la base de la literatura consultada, son los de durabilidad Baja, en lo que incide la falta de cultura, experiencia y condiciones de agresividad existente.

- **Ensayos de comportamiento en laboratorio.**

Según (Fragata, F. 2002)), la evaluación de la calidad de las pinturas elegidas debe ser una etapa previa a la selección del sistema de pintura y para ello es necesario analizar no sólo su aporte estético, sino también sus características técnicas y su comportamiento frente a los agentes agresivos. Todas las pinturas para ser aplicadas deben ser certificadas con anterioridad.

- **Ejecución y supervisión de los trabajos de pintado.**

Las empresas contratadas para la ejecución de los trabajos de pintura en estructuras de acero, y su personal, deben disponer de un sistema de aseguramiento de la calidad para la ejecución de los trabajos de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 12 944-8: 1998, a no ser que se acuerde lo contrario.

Todos los trabajos en las áreas de garantías deben de realizarse en presencia de representantes de todas las partes interesadas. Estas áreas deben estar documentadas e identificadas.

Los principales pasos para el control de la calidad son (Revueita, E. 2000): inspección y pruebas previas a la preparación de la superficie, inspección de la preparación de la superficie, inspección y aceptación de la superficie preparada, inspección y prueba, previo y durante la aplicación del primario, inspección, prueba y aceptación de la capa de primario y su curado, inspección y prueba previa durante la aplicación del acabado, inspección, prueba y aceptación de la capa de acabado y curado y aceptación final del sistema.

### **1.5 Protección anticorrosiva y conservación adicional. Materiales que se utilizan.**

Como se ha señalado con anterioridad, los sistemas de pinturas no son totalmente resistentes a los medios agresivos y la presencia de problemas de diseño anticorrosivo obliga a emplear en los sistemas protectores una protección adicional.

#### **1.5.1 Materiales compuestos de matriz asfáltica.**

Los materiales compuestos están constituidos básicamente por matrices y rellenos. La combinación adecuada de la matriz y el relleno origina unos materiales con mejores propiedades que las partes que lo componen por separado ( Echeverría, M. et al. 2006). Los rellenos poseen altos valores de dureza, resistencia y módulo de elasticidad, absorben en su superficie los aceites aumentando la termoresistencia y la dureza del mástique.

Los mástiques asfálticos son una mezcla de asfalto y materia mineral en tales proporciones que pueda extenderse en caliente o en frío compactándolo hasta obtener una superficie lisa. (Trejo, Y., 2006) y según (Rodríguez et al. 2006; Echeverría, M. et al. 2006) su una de las formas de mejorar sus propiedades es oxidándolo.

Otra de sus características es que presentan buenas propiedades mecánicas, en particular, una excelente resistencia mecánica tanto a tracción, como a compresión, flexión, cortadura y resistencia al impacto, lo cual justifica su utilización en estructuras. (Echeverría, M. 2007).

El Mástique asfáltico DISTIN 403 presenta una consistencia semisólida con goma, de alta flexibilidad, resistencia a la corrosión y adherencia, especialmente preparado para

las uniones metal – metal, metal – mortero y metal – hormigón, donde resiste vibraciones sin partir, evitando la penetración de los contaminantes. Sella orificios y protege superficies sometidas a la acción del agua y la humedad. Ofrece una capa protectora a la superficie, resistente a altas temperaturas, deformaciones por golpes de agua, piedras y a la acción agresiva de la atmósfera. Su espesor estará en dependencia de la aplicación específica que se requiera, tanto para sellar cavidades, formar recubrimientos, entre otros. Especialmente preparado para sellar orificios. Como es un producto semisólido que puede aplicarse con diferentes espesores de recubrimiento, ello determina el rendimiento del producto. Este es especialmente preparado como recubrimiento antigavilla para la protección inferior y exterior de los automóviles, contenedores y en estructuras o pisos en contacto con agua y humedad, impermeabilizando y protegiendo contra la acción microbiana.

El DISTIN 403 le ofrece una capa protectora de la superficie por evaporación del solvente, resistente a altas temperaturas, deformaciones por golpes de agua, piedras, etc. la cual penetra en todas las cavidades e intersticios que puedan existir y protege contra la acción agresiva de la atmósfera.

### **1.5.2 Grasas de conservación.**

Las grasas protectoras constituyen la base de los llamados recubrimientos temporales que tienen como finalidad proteger la superficie de los metales hasta tanto no se les aplique un recubrimiento o protección definitiva. Es una de las formas más usadas en la protección de laminados, piezas, equipos, etc., durante su transportación y almacenamiento. (Rocha, 2003)

Por sus propiedades probadas durante muchos años en condiciones de alta, muy alta y extrema agresividad corrosiva, las grasas de conservación de consistencias semisólidas y líquidas, DISTIN 314 y DISTIN 314 L han ofrecido excelentes resultados. Al ser aplicada penetra a fondo formando una capa protectora, lubricante y estable que no se endurece y proporciona una alta impermeabilidad al agua.

Otras propiedades importantes de estas grasas son su alta resistencia al agua, medios salinos, la no afectación a los recubrimientos de pintura y la formación de una capa protectora que se endurece con el tiempo por curado y no se cuarteo ni chorrea,

resistiendo temperaturas superiores a 80° C sobre la superficie metálica (Echeverría, C.A. et al. 2008).

La grasa líquida de conservación DISTIN 314 L esta especialmente formulada para el procedimiento de conservación estructural en componentes huecos, intersticios, áreas cerradas y otras zonas inaccesibles de estructuras metálicas y equipos en general, proporcionando una barrera al agua y otros agentes.

La grasa DISTIN 316 L cumple con todos los parámetros de la DISTIN 314 L, pero afecta los recubrimientos de pintura, por su composición negra, por lo que se recomienda para materiales no pintados almacenados. No se inflama, en contacto con la llama de soplete oxiacetilénico, una vez formada la capa libre del solvente.

El aceite de conservación 318 B es un aceite especialmente preparado para la conservación del grupo cilindro – pistón en los motores de combustión interna, se fabrica con el propio aceite que se emplea en cada tipo de motor, con lo que se evita tener que retirar el producto para proceder al arranque. Por su composición líquida penetra a fondo y protege a las superficies de la oxidación. Se formula para la conservación de las Centrales Eléctricas.

Debido a las propiedades que presentan las grasas mostradas anteriormente pueden ser aplicadas en los sistemas de protección anticorrosiva y de conservación de las Centrales Eléctricas.

### **1.5.3 Cera abrillantadora e impermeabilizante.**

La cera abrillantadora e impermeabilizante DISTIN 603 L es una cera líquida formulada para la protección de superficies metálicas con recubrimientos de pinturas. Penetra a fondo en orificios, sella e impide la penetración del agua, el oxígeno y los contaminantes atmosféricos impermeabilizando los poros.

Proporciona una protección adicional contra la radiación ultravioleta y brillo a los recubrimientos de pintura. Puede ser aplicada sobre madera, hormigón, mortero, no teniendo reacciones adversas.

### **1.5.4 Disolución de Fosfato.**

Según planteamientos de (Echeverría, C.A. et al. 2008) la disolución de fosfato actúa como decapante y fue especialmente elaborada para la preparación de las superficies metálicas previo a la aplicación de recubrimientos Puede ser aplicada sobre

recubrimientos de pintura que muestren partes oxidadas, convierte el óxido, penetra a fondo, elimina la mancha en la pintura y además elimina y protege de los microorganismos que manchan a esta.

La disolución de fosfatado decapante DISTIN 504 está formulada para la preparación rápida de superficies metálicas. Esta proporciona una limpieza a fondo de la superficie. Penetra en los intersticios, convierte el óxido, sella y forma una capa protectora con sales insolubles que es resistente a deformaciones y a la acción agresiva de la atmósfera. Requiere de un enjuague y secado posterior si va a aplicar algún recubrimiento antes de las 72 horas. Su efecto es inmediato al tratar superficies oxidadas de chapas, accesorios, piezas, etc., previo a la aplicación de recubrimientos. Se recomienda aplicar recubrimiento después de las 72 horas.

Garantiza la protección temporal de las superficies metálicas días, semanas e incluso meses, en las condiciones climáticas de Cuba en zonas de agresividad de alta a extrema, en dependencia de las condiciones de almacenamiento.

#### **. 1.6 Conclusiones parciales del capítulo.**

1. Los efectos de los factores atmosféricos, los problemas de diseño anticorrosivo, incorrecto uso de las normas y la incorrecta selección de materiales exige de soluciones con técnicas y productos con enfoque en sistemas de protección anticorrosiva y conservación, existiendo al respecto, muy pocas referencias en la bibliografía consultada.
2. Las pinturas constituyen un componente fundamental en los sistemas de protección con recubrimientos debido a su amplio campo de aplicación. Siendo su efectividad determinada por la correcta preparación de la superficie y por el adecuado control de los diferentes pasos a la hora de ser aplicadas, así como de su correcta selección.
3. Los materiales compuestos de matriz asfáltica poseen propiedades que superan en algunas aplicaciones a las pinturas, entre ellas la elasticidad, adherencia, resistencia a los microorganismos, impermeabilidad al agua y resistencia a los impactos.

4. Las grasas de conservación temporal encuentran aplicación en el tratamiento de problemas de diseño anticorrosivo como componentes huecos, áreas cerradas y otros.
5. La ceras impermeabilizantes encuentran aplicación en la conservación de los recubrimientos de pinturas al proporcionarle impermeabilidad al agua y sales, resistencia a la radiación ultravioleta entre otras propiedades.

## **Capítulo 2: Diagnóstico del diseño anticorrosivo, corrosión, protección y conservación.**

### **2.1 Materiales y métodos.**

En el área de centrífuga de la Central Eléctrica Diesel MTU de Varadero, el material que principalmente se emplea en la construcción de los equipos y componentes existentes es el acero estructural de bajo contenido de carbono (AISI 1020), aunque se pueden encontrar los aceros aleados (AISI 403 12Cr) y el hormigón armado.

Para realizar el trabajo de mesa hay que conocer los diferentes problemas de diseño anticorrosivo que presentan las instalaciones, por lo que hay que consultar de forma obligada las Normas Internacionales, en particular las Normas UNE-EN ISO 129244 de la 1 - 8: 1998. Las mismas en su conjunto, establecen los criterios básicos de diseño que tienen que cumplirse para prevenir la corrosión. Es válido señalar que Cuba suscribe y aplica las Normas ISO.

Como método para la realización del diagnóstico tuvimos en cuenta los siguientes pasos:

#### **➤ Análisis visual.**

Para realizar un correcto análisis de los problemas de diseño anticorrosivo, corrosión, protección y conservación, lo primero que hay que efectuar es un adecuado diagnóstico de los equipos y componentes. Para ello se realiza un análisis visual detallado para poder observar todos los problemas que existen.

Observación que se realiza de derecha a izquierda, de adelante hacia de detrás y de abajo hacia arriba.

#### **➤ Fotografía digital.**

Seguidamente de realizada la observación, con el procedimiento anteriormente descrito se continua a la toma de las muestras fotográficas de todos los problemas existentes en los equipos y componentes, para posteriormente analizarlas en trabajo de mesa mediante el uso de la norma UNE – EN ISO 11303: 2009.

### **2.2 Diagnóstico de los problemas de diseño anticorrosivos y de corrosión.**

El incumplimiento de las normas internacionales de diseño anticorrosivo desde la etapa inicial del diseño de las construcciones metálicas es un factor ignorado frecuentemente.

Esto decididamente favorece y acelera el proceso de la corrosión, lo que conlleva sin dudas a considerables pérdidas económicas.

La identificación de los problemas de diseño anticorrosivo es el primer paso en el tratamiento anticorrosivo y conservación. Su eliminación atenúa en gran medida los efectos de la corrosión y evita que aparezcan algunos tipos específicos, lo que debe prolongar la vida útil de los equipos y componentes.

También, la identificación de los tipos de corrosión, sus causas, mecanismos y factores que influyen, es de gran importancia para el diagnóstico de los problemas de corrosión y en la búsqueda de la solución adecuada.

La centrífuga se encuentra bajo techo, pero este es insuficiente ya que su área de protección es pequeña y no tiene paredes que retengan los contaminantes presentes en la atmósfera, por lo que prácticamente esta al aire libre. Está situada sobre soportes metálicos, acompañada de un sistema de bombeo que envía el combustible al tanque de operación.

### **2.2.1 Área de centrífuga**

A continuación se analizan los diferentes equipos y componentes del área de centrífuga (Ver Figura 2.1), mencionando los diferentes problemas de diseño anticorrosivo identificados en la propia instalación objeto de estudio como resultado del diagnóstico realizado, así como los tipos de corrosión que se originan.



Figura 2.1 Vista general del área de centrífuga.

En las válvulas se encuentran varios problemas de diseño anticorrosivo. Entre ellos las conexiones precargadas como los pernos, tuercas y arandelas. Se observan orificios en las uniones entre bridas, sin pintar interiormente. Es evidente que en este caso se produce un rápido deterioro desde el interior, con la formación del celdas de aireación diferencial, propias de la corrosión intersticial o corrosión en resquicios y corrosión galvánica. Estos problemas se pueden observar en la figura 2.2 y figura 2.3.

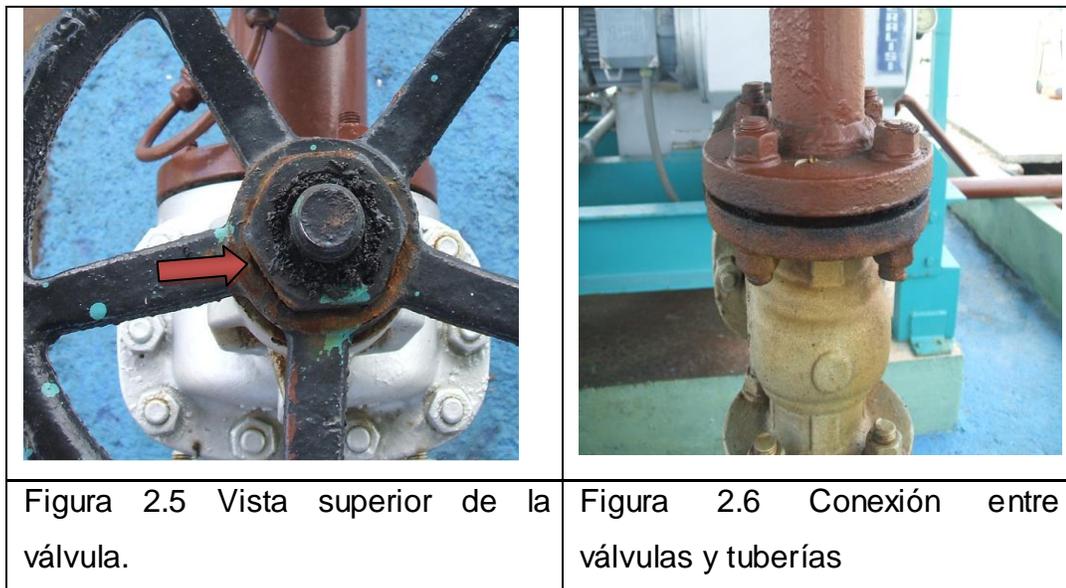
En estas situaciones la corrosión por celdas de aireación diferencial provocada por la diferencia de concentración de oxígeno entre la superficie donde se encuentra el contaminante y el resto. Esta es también corrosión del tipo electroquímica, atmosférica, pero no uniforme, galvánica por celdas de aireación diferencial.

Existen problemas de orificio o intersticio en la unión del soporte metálico y la base de hormigón en la base de la bomba de combustible, además del problema de retención de acumulación y deposito que se pueden ver en la figura 2.4

En la figura 2.4 se señala además la presencia de corrosión en la unión del soporte metálico y la base de hormigón, debido a inadecuada aplicación de tratamientos y pinturas, y los problemas de intersticios o resquicios, retención de acumulación y deposito.

		
Figura 2.2 Orificio en unión entre bridas y orificio-perno	Figura 2.3 Unión entre bridas en la parte superior de la bombas	Figura 2.4 Orificio en la base con perno sin sellado.

En las figuras 2.5 y 2.6 se observan el problema de diseño de unión con pernos. En la vista superior de la válvula, representado con flecha roja se puede detectar la retención de humedad y de resquicio, mientras que en la figura 2.6 existe problema de orificio entre la unión de las bridas.



En la figura 2.7 y figura 2.8 representado con flechas verdes se puede observar la presencia de par metálico. Representado con flecha azul los problemas de bordes. Estos problemas traen consigo los mismos tipos de corrosión que se han expuesto en casos anteriores. Este problema de diseño se presenta con bastante frecuencia.

La corrosión galvánica viene dada por la continuidad eléctrica entre dos metales de diferente potencial electroquímico en condiciones de exposición continua o periódica a la humedad (electrolito), tendrá lugar la corrosión del metal menos noble de los dos. Influye también la diferencia de áreas, sobre todo cuando el área anódica es muy pequeña en comparación con el área catódica.

La formación de este par galvánico también acelera la velocidad de corrosión del menos noble de los dos metales. La velocidad de corrosión depende, entre otros factores, de la diferencia de potencial entre los dos metales conectados, sus áreas relativas y la naturaleza y período de acción del electrolito.

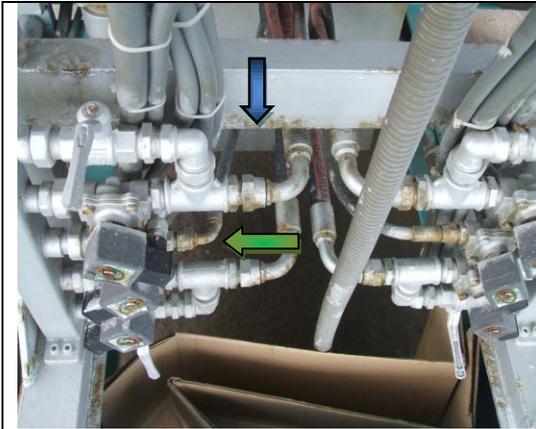


Figura 2.7 Frente inferior de la centrifuga.



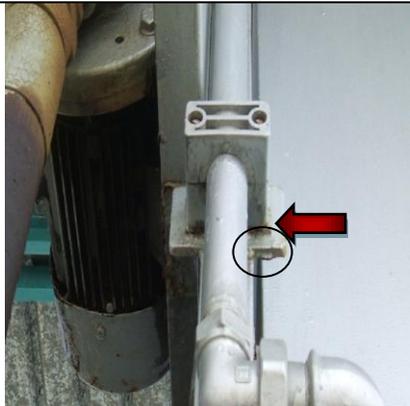
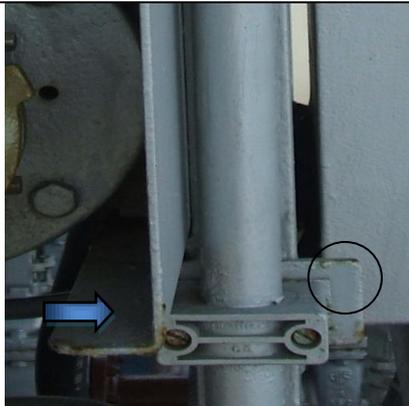
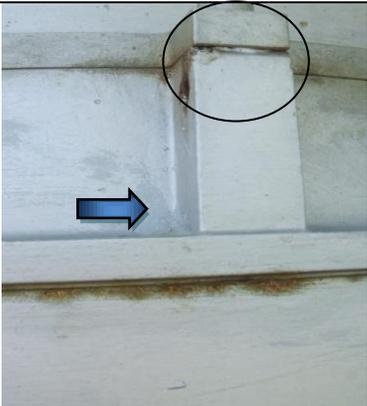
Figura 2.8 Frente de la centrifuga.

En las figuras 2.9, 2.10 y 2.11 se puede observar los problemas de zonas de acumulación y depósito representado con flecha azul, mientras que con flecha roja se puede observar los problemas de diseño como los bordes. También existen problemas con la soldadura representada con círculo que trae consigo la corrosión en resquicios, que es corrosión de tipo electroquímica, no uniforme. Esta favorece la acumulación de depósitos como los provenientes del aerosol marino y la humedad. En los resquicios tiene lugar la condensación a humedades relativas por debajo del 100 %, ya que se comporta como un capilar y favorece la acumulación y depósitos de contaminantes. Provocando la corrosión en resquicios y la corrosión por celdas de aireación diferencial, las cuales fueron analizadas con anterioridad.

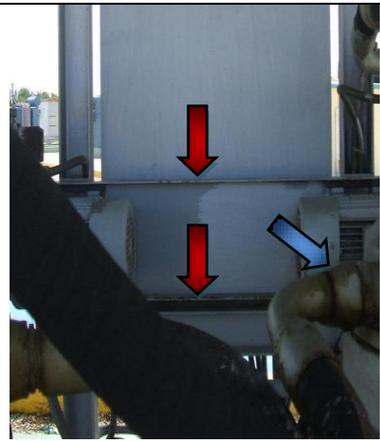
Los bordes representados con flechas rojas deben ser redondeados o biselados desde el proceso de fabricación y las rebabas en torno a orificios y a lo largo de otros bordes cortantes que deberían eliminarse.

La retención de humedad, depósitos y agua provoca serios problemas, como la corrosión atmosférica mojada, que tiene lugar cuando existe presencia de agua en la superficie. Pero con solo haber humedad, se produce la corrosión atmosférica húmeda. Ambas se clasifican del tipo de corrosión electroquímica, atmosférica, uniforme. La presencia de contaminantes, principalmente los cloruros y sulfatos provenientes del

aerosol marino, son factores que influyen en la aceleración de la corrosión cuando existe humedad.

		
<p>Figura 2.9 Tuberías en el lateral de la centrifuga vista desde abajo.</p>	<p>Figura 2.10 Tuberías en el lateral de la centrifuga.</p>	<p>Figura 2.11 Bordes y soldaduras en la centrifuga.</p>

Se puede observar que existen también problemas con los pernos, tuercas y arandelas en las figuras 2.12 y 2.113.

		
<p>Figura 2.12 Tuberías en el lateral de la centrifuga vista desde abajo.</p>	<p>Figura 2.13 Tuberías en el lateral de la centrifuga.</p>	<p>Figura 2.14 Bordes en la vista trasera de la pizarra de control y tuberías de la centrifuga.</p>

En las figuras 2.13 y 2.14 indicado con flecha azul se pone de manifiesto la corrosión por par metálico. También en esta última se puede apreciar en la parte trasera inferior

de la pizarra de control algunas zonas afectadas por el problema de bordes señaladas con flechas rojas. Todos estos problemas de diseño anticorrosivo traen consigo los mismos problemas de corrosión que fueron analizados con anterioridad.

En las figuras 2.15, 2.16 y 2.17 se presenta la vista general de la pizarra de control de la centrifuga que se pueden detectar varios problemas de diseño anticorrosivo y de corrosión.

En primer lugar se puede observar que existe mala aplicación del sistema de pintura y mala preparación superficial antes de su aplicación, lo que trae consigo celdas de aireación diferencial que provoca la corrosión.

En la parte frontal de la pizarra se puede observar la presencia de celdas de aireación que pueden deberse a la mala preparación de la superficie antes de ser pintada figura 2.16.

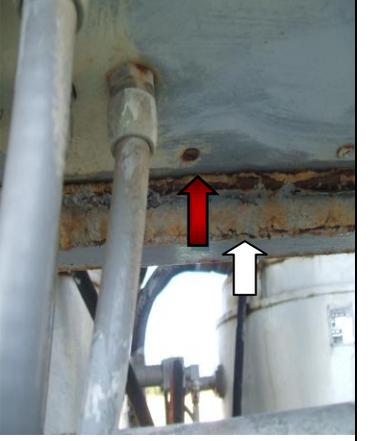


El la figura 2.17 se puede observar problemas con los bordes, además de las celdas de aireación diferencial por la mala preparación superficial antes de pintar.

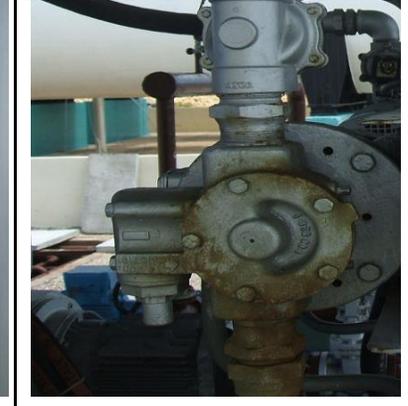
En la figura 2.18 se puede observar que existen zonas de acumulación y depósito de humedad que junto con la mala preparación superficial trae consigo la corrosión interfacial que fue analizada con anterioridad.

En la parte inferior lateral como se puede observar en la figura 2.19 donde está encerrado en el círculo podemos encontrar varios problemas dentro de los que tenemos los de orificios o intersticios, con las soldaduras, además de que existen celdas aireación.

En la Figura 2.20 se pueden observar problemas con los bordes representados con flecha blanca y los problemas con los orificios, representado con flecha roja. Estos problemas traen consigo los problemas de corrosión mencionados anteriormente cuando se presentan estos problemas de diseño.

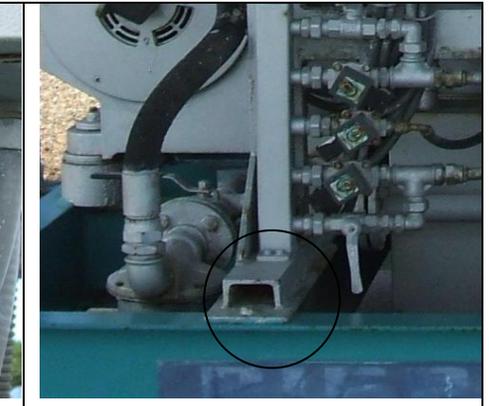
		
Figura 2.18 Parte superior de la centrífuga.	Figura 2.19 Parte inferior lateral.	Figura 2.20 Parte inferior de la pizarra de control.

Las zonas de retención de humedad, contaminantes y agua están presentes en las figuras 2.21, 2.22 y 2.23 que pertenecen a la zona del motor con sus accesorios. Los contaminantes que están presentes en estos lugares son el polvo que se encuentra sobre el motor de la centrífuga en la figura 2.21, el líquido amarillento proveniente de derrame del tanque de desecho, retenido además por consecuencias de bordes en la figura 2.22.

		
<p>Figura 2.21 Base de motor centrifuga</p>	<p>Figura 2.22 Tanque colector de desecho.</p>	<p>Figura 2.23 Sector de bombeo</p>

A continuación se pueden analizar los problemas presentados en las figuras 2.24, 2.25 y 2.26. Se observan áreas de difícil acceso para la preparación superficial y la aplicación de recubrimientos de pintura. En la figura 2.25 se pueden observar además problemas con la soldadura y en la figura 2.26 señalado con un círculo se observa la presencia de componentes huecos.

En el caso de presentar problemas de inaccesibilidad después del montaje del equipo este se debe hacer con componentes fabricados con materiales resistentes a la corrosión o tener un sistema de pintura protector que sea efectivo durante el tiempo de servicio de la estructura para evitar que tenga lugar la corrosión atmosférica húmeda y la corrosión por celdas de aireación diferencial que fueron analizadas con anterioridad.

		
<p>Figura 2.24 Parte superior de una válvula.</p>	<p>Figura 2.25 Dificil acceso en la pizarra de control.</p>	<p>Figura 2.26 Soporte de la pizarra de control.</p>

Existen problemas de soldadura, de bordes, zonas de difícil acceso, acumulación y depósito de agua en la base donde se sostiene los soportes del motor, donde existen celdas de aireación diferencial originando la corrosión, figuras 2.27 y 2.28. En estas figuras se pueden observar los componentes huecos en los soportes del motor de la centrífuga.

En la mayoría de los casos las áreas inaccesibles no son objeto de chequeo periódico para el mantenimiento y por ello resulta más económico aplicar una protección adicional sobre el recubrimiento de pintura, aumentando su protección al conservar el recubrimiento.



Figura 2.27 Soportes del motor.



Figura 2.28 Interior del soporte del motor

En el sistema de bombeo particularmente se presenta el problema de los accesorios con es el caso de los pernos mostrados en la figura 2.29 los cuales se indican dentro de la zona del círculo.

		
Figura 2.29 Accesorio de la bomba.	Figura 2.30 Base de la bomba de combustible.	Figura 2.31 Parte superior del motor de la bomba.

En las figuras 2.29, 2.30 y 2.31 existen problemas con los bordes y con la retención, deposito y humedad que traen consigo problemas de corrosión interfacial tal y como se muestra en la figura 2.31. En las mismas se observan problemas con los orificios entre la base hormigón y el soporte metálico.

En los techos de la base de la estación de bombeo que se observa en la figura 2.32 se pueden encontrar los problemas de par metálico entre la unión el techo de zinc galvanizado y los soportes metálicos, además de los intersticios, mientras que en la figura 2.33 existen problemas de acumulación, soldadura y de bordes.



Figura 2.32 Techo de la estación de bombeo.

Figura 2.33 Soporte del techo.

Las figuras 2.34 y 2.35 representan a las tuberías del área de sistema de bombeo del combustible, como se observa están presentes los problemas de soldadura que trae consigo consecuencias explicadas anteriormente.



Figura 2.34 Tuberías del área de sistema de bombeo.



Figura 2.35 Tuberías del área de sistema de bombeo.

### 2.3 Diagnóstico de la preparación de superficies.

Existen muchos elementos para argumentar que la preparación previa de la superficie resulta de vital importancia en la aplicación de los recubrimientos y para ello hay que tener en cuenta una serie de pasos que se deben cumplir de forma obligatoria.

En la Central Eléctrica el estado inicial del material según la norma UNE-EN ISO 8501-1: 2008, es de grado C ya que existe pérdida de cascarilla por corrosión debido a que el acero ha estado expuesto a la atmósfera por más de un año sin que se observen a simple vista picaduras.

En la central eléctrica se pueden observar serios problemas de preparación superficial antes de aplicar los sistemas de pinturas, como muestran las figuras 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5 y 2.3.6.

		
Figura 2.3.1 Manchas de Óxido.	Figura 2.3.2 Pintura desprendiéndose.	Figura 2.3.3 Óxido y desprendimiento de pintura.

		
Figura 2.3.4 Parte superior de la válvula.	Figura 2.3.5 Superficie metálica con celdas de aireación diferencial.	Figura 2.3.6 Parte inferior de la pizarra de control.

## 2.4 Conclusiones parciales del capítulo

1. Todos los tipos de corrosión y problemas de diseños anticorrosivos que se presentan, provocan afectaciones a las instalaciones por lo que deben ser atendidos por igual.
2. La causa principal de los problemas de corrosión que se presentan en la Central Eléctrica de Varadero son los problemas de diseños anticorrosivos junto con los efectos de los contaminantes atmosféricos propios de la zona.

3. Se requiere de conocimientos sobre cómo eliminar los problemas de diseños anticorrosivos, preparación superficial y de los métodos de protección que deben ser aplicados para encontrarle solución a los diferentes problemas de corrosión que se presentan.

## **Capítulo 3: Propuesta de un sistema de protección anticorrosiva y conservación.**

Como resultado del diagnóstico realizado en la Central Eléctrica, se logró identificar un grupo de problemas de diseño anticorrosivo, de recubrimientos de pinturas y de ausencia de otros recubrimientos, que se presentan en estas instalaciones y que fueron detallados en el capítulo anterior.

En este capítulo se aborda lo referente a las soluciones de los problemas de diseño anticorrosivos presentes en la Central Eléctrica, así como los materiales y métodos, que son empleados en la propuesta del Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC).

### **3.1 Materiales y Métodos.**

Los materiales que se analizaron fueron productos de fabricación nacional, que se utilizaran para conformar la tecnología del SIPAYC. Ellos son:

- Disolución de Fosfatado Decapante de Acción Rápida DISTIN 504.
- Grasa Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L.
- Grasa Semisólida DISTIN 314.
- Mástique Asfáltico Semisólido con Goma DISTIN 404.
- Mástique Asfáltico Líquido Tipo Solvente con Goma DISTIN 404 L.
- Cera Impermeabilizante y Abrillantadora Líquida DISTIN 603 L.

#### **3.1.1 Ensayos acelerados en cámaras de niebla salina (NSS).**

##### **Objetivo y Campo de aplicación.**

La norma internacional ISO 9227: 2007 especifica los aparatos, los reactivos y el método operatorio que se deben utilizar en los ensayos de niebla salina neutra (NSS), que permiten evaluar la resistencia a la corrosión de materiales metálicos, con o sin recubrimiento de protección temporal o permanente.

También describe el método empleado para evaluar la corrosividad del medio de la cámara de ensayo.

Todos los métodos de niebla salina son adecuados para verificar que se mantiene la calidad comparativa de un material metálico, con o sin recubrimiento protector. No están

previstos como ensayos comparativos, para clasificar diferentes materiales uno respecto a otros frente a la corrosión.

#### **a) Soluciones de ensayo.**

##### **Preparación de la solución de cloruro sódico.**

Se disuelve una masa suficiente de cloruro sódico en agua destilada o desionizada que tenga una conductividad igual o menor de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a  $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , para obtener una concentración de  $(50 \pm 5) \text{ g/l}$ . La densidad relativa a 25  $^\circ\text{C}$ , debe estar comprendida entre 1,029 y 1,036.

El cloruro sódico debe contener menos de 0,001% (m/m) de cobre y menos de 0,001% (m/m) de níquel, determinados por espectrometría de absorción atómica o por otro método analítico de igual sensibilidad. No debe contener más de 0,1% (m/m) de yoduro sódico ni más de 0,5% (m/m) de impurezas totales, calculado respecto al residuo seco.

Si el pH de la solución preparada, medido a  $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$  está fuera del intervalo 6,0 – 7,0 se busca la presencia de impurezas indeseables en la sal o en el agua.

##### **b) Ajuste del pH.**

Se ajusta el pH de la solución de cloruro sódico de forma que el pH de la solución pulverizada recogida en la cámara de pulverización esté comprendido entre 6,5 y 7,2 a  $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Se mide el pH con mediciones electrométricas o, en los ensayos de rutina, con papel indicador de gama estrecha, con el que puedan obtenerse indicaciones con una precisión de aproximadamente 0,3 unidades de pH o menos. Se efectúan las correcciones necesarias mediante la adición de ácido clorhídrico, hidróxido sódico o bicarbonato sódico de calidad analítica reconocida.

##### **c) Filtración.**

Si es necesario, se filtra la solución antes de colocarla en el depósito del aparato para retirar todas las partículas sólidas que pudieran obstruir los orificios del dispositivo de pulverización.

##### **d) Aparatos.**

El material o el recubrimiento de todas las piezas que se pongan en contacto con la niebla o la solución de ensayo deben ser resistentes a la corrosión y no debe influir en la corrosividad de las soluciones de ensayo pulverizadas.

### **Cámara de pulverización.**

La cámara de pulverización debe tener una capacidad igual o superior a 0,4 m<sup>3</sup>, la experiencia ha demostrado que con menores volúmenes es difícil obtener un reparto homogéneo de la niebla. Para cámaras de gran volumen, es necesario asegurarse que se consiguen las condiciones de homogeneidad y reparto de la niebla. Se deben diseñar las partes superiores de manera que las gotas de solución acumuladas no caigan sobre la superficie de las probetas a ensayar.

Las medidas y la forma de la cámara de pulverización deben ser tales que la velocidad de recogida de solución en la cámara esté comprendida entre los límites especificados en el (Anexo 2a), medida para un periodo mínimo de 24h de pulverización continua.

El aparato debe disponer preferentemente de los medios que permitan tratar adecuadamente la niebla después del ensayo y antes de que salga del edificio, e igualmente acondicionar el agua antes de verterla en el sistema de evacuación, para no perjudicar al medioambiente. En el (Anexo 2b) se recoge una representación esquemática de una posible cámara de pulverización.

### **Dispositivo de calentamiento y de regulación de la temperatura.**

Un dispositivo adecuado permite mantener la cámara y su contenido a la temperatura especificada véase el (Anexo 2a). La medición de la temperatura debe hacerse a una distancia mínima de 100 mm de las paredes.

### **Dispositivo de pulverización.**

El dispositivo de alimentación de solución salina se compone de un sistema de alimentación de aire limpio, un sistema de control de la presión y la humedad, de un depósito que contiene la solución que se pulveriza y de uno o varios pulverizadores.

La alimentación de los pulverizadores con aire comprimido debe hacerse a través de un filtro que elimine cualquier resto de aceite o de material sólido, a una presión comprendida entre 70 kPa y 170 kPa.

Para evitar la evaporación de las gotas de agua pulverizadas, el aire debe estar humidificado antes de entrar en el pulverizador, mediante el paso por un saturador cerrado que contenga agua destilada o desionizada y caliente. La temperatura conveniente depende de la presión utilizada y del tipo de boquilla de pulverización, y debe regularse para que se mantenga el caudal de la solución recogida en la cámara y

su concentración, dentro de los límites prescritos. En la tabla 1 se recogen los valores guía de la temperatura del agua caliente en la torre de saturación para diferentes presiones.

Tabla 1: Valores guías de la temperatura del agua caliente en la torre de saturación.

Presión absoluta de pulverización.	Valores guía de la temperatura, en °C, del agua caliente del saturador cuando se realizan los distintos ensayos de niebla salina.	
kPa	Niebla salina neutra (NSS) y niebla salina acética (AASS)	Niebla salina cuproacética (CASS)
70	45	61
84	46	63
98	48	64
112	49	66
126	50	67
140	52	69

**Fuente: González, A. 2011**

Los pulverizadores deben ser de materiales inertes. Pueden usarse deflectores para impedir el impacto directo de la solución pulverizada sobre las probetas.

#### **Colectores.**

Se debe disponer al menos de dos colectores adecuados, constituidos por dos embudos de cristal o de otro material inerte de 100 mm de diámetro, conectados a recipientes cilíndricos graduados u otros recipientes del mismo tipo. Los colectores deben colocarse en la zona de la cámara donde se encuentran las probetas, de forma que uno de ellos esté próximo a un pulverizador y el otro alejado.

#### **e) Método de evaluación de la corrosividad de la cámara de ensayo.**

##### **Generalidades.**

Para determinar la corrosividad de los ensayos, se deben utilizar probetas de acero de referencia.

### **Ensayo de probetas de referencia.**

Se utilizan cuatro o seis probetas de referencia de 150 mm x 70 mm y de  $(1 \pm 0,2)$  mm de espesor, de acero del tipo CR4 definido en la Norma ISO 3574, con un acabado superficial esencialmente sin defectos y acabado mate [desviación de la media aritmética del perfil  $R_a = (0,8 \pm 0,3) \mu\text{m}$ ]. Estas probetas de referencia deben cortarse de chapas o flejes laminados en frío.

Antes del ensayo se limpian cuidadosamente con un disolvente orgánico adecuado (por ejemplo, un hidrocarburo cuyo punto de ebullición esté comprendido entre 60 °C y 120 °C) utilizando un cepillo limpio y suave o un aparato de limpieza por ultrasonidos, tratando de eliminar los residuos (suciedades, aceites u otras sustancias extrañas) que puedan influir en los resultados del ensayo. Después de la limpieza, se enjuagan las probetas de referencia con disolvente limpio, y por último, se secan. Posteriormente se determina la masa de las probetas de referencia con una precisión de  $\pm 1$  mg.

### **Disposición de las probetas de referencia.**

Se colocan las probetas de acero en los cuadrantes en la zona de la cámara donde se colocan las probetas de ensayo, con sus caras no protegidas orientadas hacia arriba y con ángulos de inclinación respecto a la vertical de  $(20 \pm 5)^\circ$ .

Los soportes de las probetas de referencia deben fabricarse con materiales inertes, como plásticos, o estar recubiertos de este tipo de material. El reborde inferior de las probetas de referencia debe estar al mismo nivel que la parte superior de los colectores de niebla.

### **Determinación de la pérdida de masa (masa por unidad de superficie).**

Al final del ensayo, se retiran inmediatamente las probetas de referencia de la cámara de ensayo y se quita la película de protección. Se eliminan los productos de corrosión mediante la limpieza mecánica y química que se describe en la Norma ISO 8407. Para la limpieza química, se utiliza una solución al 20% (m/m) de citrato diatómico  $[(\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7]$  de calidad analítica reconocida, en agua, durante 10 min a 23 °C.

Después de cada ataque se enjuagan a fondo las probetas, a la temperatura ambiente, primero con agua, después con etanol, y por último se secan.

Se pesan las probetas de referencia con precisión de 1 mg. Se divide la pérdida de masa determinada por el área de la superficie expuesta de la probeta de referencia,

para evaluar la pérdida de masa de metal por metro cuadrado de probeta de referencia. Los datos se muestran en la tabla 2.

También pueden eliminarse los productos de corrosión mediante la limpieza química que se describe en la Norma ISO 8407, por inmersión en una solución decapante de ácido clorhídrico ( $\rho_{20} = 1,18 \text{ g/ml}$ ) al 50% (m/m), de calidad analítica reconocida, que contenga 3,5 g/l de hexametileno tetramina, como inhibidor de la corrosión.

*Tabla 2: Pérdida de masa admisible para las probetas de procedencia de cinc y de acero para la verificación de la corrosividad de la cámara.*

Método de ensayo.	Duración del ensayo H	Pérdida de masa admisible de las probetas de referencia de cinc $\text{g/m}^2$	Pérdida de masa admisible de las probetas de referencia de acero $\text{g/m}^2$
NSS	48	$50 \pm 25$	$70 \pm 20$ (apartado 5.2.4)
AASS	24	$30 \pm 15$	$40 \pm 10$ (apartado 5.3.4)
CASS	24	$50 \pm 20$	$55 \pm 15$ (apartado 5.4.4)

**Fuente: González, A. 2011**

### **Verificación del funcionamiento del aparato de Niebla Salina Neutra.**

El funcionamiento del ensayo es satisfactorio cuando la pérdida de masa de cada probeta de referencia de acero es de  $(70 \pm 20) \text{ g/m}^2$  en 48 h de funcionamiento.

### **Probetas.**

- 1) Se debe elegir el número de probetas, su forma y sus medidas, de acuerdo con la especificación del material o del producto que se somete a ensayo. A falta de tal especificación, estos parámetros deben ser objeto de un acuerdo entre las partes interesadas. Estas probetas deben medir aproximadamente  $150 \times 100 \times 1 \text{ mm}$ .
- 2) Las probetas deben limpiarse cuidadosamente antes del ensayo. El método utilizado depende de la naturaleza del material, de la superficie y de los productos que hayan contaminado esta superficie y no deben emplearse abrasivos o disolventes que puedan atacar la superficie de las probetas.

### **Disposición de las probetas.**

- 1) Las probetas deben colocarse en la cámara de forma que no sean rociadas directamente por los pulverizadores de la niebla.
- 2) La probeta debe ser plana y colocada en la cámara formando un ángulo respecto a la vertical lo más próximo posible a los 20°.
- 3) Las probetas deben estar dispuestas de manera que no entren en contacto con la cámara, y que estén expuestas a la libre circulación de la niebla.
- 4) Los soportes de las probetas deben ser de materiales inertes no metálicos.

### **Condiciones de operación.**

Las condiciones de operación se resumen en el Anexo 2a.

- ✓ Antes de proceder a un ensayo, se debe verificar las condiciones de ensayo en la cámara. Una vez que ha confirmado que las condiciones de ensayo están dentro de los límites especificados, se colocan las probetas en la cámara y se comienza el ensayo.
- ✓ La solución recogida en cada uno de los colectores debe tener los parámetros requeridos.

### **Duración de los ensayos.**

La duración de los ensayos debe fijarse según la especificación que define el material o el producto que se somete a ensayo. En nuestro caso el periodo de exposición deseado es de 500 h.

La pulverización debe ser continua para toda la duración del periodo de ensayo fijado. Sólo debe abrirse la cámara para exámenes visuales breves de las probetas y para rellenar los depósitos de solución salina, si esta operación no puede realizarse desde el exterior de la cámara.

Se puede realizar un examen visual periódico de las probetas sometidas a examen durante un período determinado, pero no deben alterarse las superficies que se están ensayando y el tiempo que la cámara esté abierta debe ser el mínimo necesario para observar y registrar los cambios visibles.

### **Tratamiento de las probetas después del ensayo.**

Finalizado el periodo de ensayo, (ver Anexo 3) se retiran las probetas de la cámara y se dejan secar entre 0,5 h y 1 h antes de enjuagarlas, para reducir los riesgos de eliminar

productos de corrosión. Antes de examinar las probetas, se eliminan cuidadosamente los restos de la solución pulverizada de las superficies. Un método conveniente consiste en enjuagar o sumergir cuidadosamente las probetas en agua corriente limpia, a una temperatura que no sobrepase los 40 °C, y secarlas inmediatamente en una corriente de aire, a una presión que no supere los 200 kPa y a una distancia de aproximadamente 300 mm.

Se puede utilizar la Norma ISO 8407 para el tratamiento de la probeta después del ensayo.

### **Evaluación de los resultados.**

Se pueden aplicar diferentes criterios a la hora de evaluar los resultados del ensayo como son:

- El aspecto después del ensayo.
- El aspecto después de la eliminación de los productos superficiales de corrosión.
- La variación de la masa.
- La modificación de las propiedades mecánicas.
- La alteración revelada por un examen micrográfico.

La evaluación se realiza por cada 1 ciclo de 100 horas con una exigencia de 500 horas sin afectaciones.

En nuestro caso la Grasa Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L, la Grasa Semisólida DISTIN 314, el Mástique Asfáltico Semisólido con Goma DISTIN 404, el Mástique Asfáltico Líquido Tipo Solvente Goma DISTIN 404 L y la Cera Impermeabilizante y Abrillantadora DISTIN 603 L, sin afectaciones. Estos ensayos se realizaron por el Laboratorio LABET.

Este resultado corrobora que el recubrimiento formado proporciona una protección temporal de las superficies metálicas por años en las condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad, propias de las zonas marítimas. Resiste la acción del agua, no se emulsiona por contacto.

### **3.1.2 Ensayos de resistencia a la humedad y temperatura con condensación constante.**

#### **Principios Generales.**

Las atmósferas de ensayo con condensación de agua originan la condensación de humedad atmosférica sobre la superficie de las probetas de ensayo cuya temperatura es inferior a la del aire saturado de la cámara climática, debido a la radiación de las paredes de la cámara o al enfriamiento de las probetas de ensayo.

La atmósfera de ensayo con condensación de agua es a humedad constante (CH). La temperatura atmosférica en la cámara climática durante el proceso de condensación descrita en la Norma UNE-EN ISO 6270: 2006 es de 40 °C.

En la tabla del Anexo 4a se muestra un resumen de las atmósferas de ensayo, duración de los ciclos y condiciones.

#### **a) Procedimiento Operatorio.**

##### **Probetas de ensayo.**

En ningún momento se deben exponer a la vez recubrimientos que puedan ejercer una influencia entre ellos.

##### **Dispositivo para la colocación de las probetas de ensayo.**

El dispositivo para la colocación de las probetas de ensayo debe ser de un material resistente a la corrosión y que no provoque corrosión de las probetas.

##### **Disposición de las probetas de ensayo.**

Las probetas de ensayo se deben colocar en la cámara con un ángulo igual o mayor a 60° respecto a la horizontal de manera que no se encuentren en contacto unas con otras y puedan radiar calor adecuadamente.

Se deben cumplir las siguientes distancias mínimas:

- Distancia a las paredes no menor de 100 mm.
- Distancia desde la superficie del agua hasta el borde inferior de las probetas de ensayo no menor de 200 mm.
- Distancia entre las probetas de ensayo no menor de 20 mm

## **b) Aparatos.**

### **Cámara climática.**

Para realizar estos ensayos es esencial una cámara climática hermética al vapor. El material de las paredes interiores debe ser resistente a la corrosión y no debe afectar a las probetas de ensayo. La cámara climática normalmente está equipada con un fondo que actúa como cubeta receptora de agua. La cámara climática se debe controlar calentando el agua de la cubeta del fondo, siendo la temperatura del agua no superior a los 60 °C para evitar una excesiva formación de vapor. El Anexo 4b muestra un ejemplo de cámara climática.

### **Instalación de la cámara climática.**

La cámara climática se debe instalar en una sala con atmósfera ambiental que no contenga componentes corrosivos, con una temperatura ambiente de  $(23 \pm 5)$  °C y una humedad relativa máxima del 75%, y de modo que quede protegida de corrientes de aire y de radiación solar directa.

### **Llenado de la cubeta del fondo.**

La cubeta del fondo se debe llenar con agua de manera que la profundidad no sea inferior a 10 mm, en ningún momento del ensayo.

Se recomienda la utilización de agua destilada o desionizada para evitar la calcificación del aparato.

## **c) Etapas del ensayo.**

### **Puesta en marcha.**

Se colocan las probetas de ensayo en su posición, se cierra la cámara climática y se enciende el calentador del agua de la cubeta del fondo o de la cámara climática. Se calienta la cámara a la temperatura del aire requerida para la primera parte del ensayo; esta temperatura se debe alcanzar en 1,5 h.

### **Atmósfera de condensación con humedad constante (CH).**

Se mantiene, durante todo el ensayo, la temperatura en 40 °C. Si es necesario realizar una evaluación intermedia, se retiran las probetas, sin apagar el calentador, llevándolas de nuevo a la cámara en menos de 30 min.

### **Interrupciones.**

Toda interrupción de los ensayos que suponga alteración de la atmósfera se debe compensar prolongando el segundo periodo de ensayo.

### **Fin del ensayo.**

El ensayo termina cuando se produzca un deterioro específico del recubrimiento, o cuando se haya completado la duración del ensayo o el número de ciclos especificado.

### **Evaluación de los resultados.**

Se lleva a cabo la evaluación y se registran los resultados, incluyendo el número y el momento de las evaluaciones intermedias y el tipo de evaluación realizada en la evaluación final de las probetas de ensayo.

En nuestro caso la Grasa Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L, la Grasa Semisólida DISTIN 314, el Mástique Asfáltico Semisólido DISTIN 404, las disoluciones de fosfatado DISTIN 504, el Mástique Asfáltico Líquido Tipo Solvente DISTIN 404 L y la Cera Impermeabilizante y Abrillantadora DISTIN 603 L pasaron el ensayo de Resistencia a la humedad y Temperatura con condensación constante durante 1600 horas, sobre probetas de acero de bajo contenido de carbono según la norma correspondiente, sin afectaciones. Estos ensayos se realizaron por el Laboratorio LABET.

Este resultado corrobora que el recubrimiento formado proporciona una protección temporal de las superficies metálicas por años en las condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad, propias de las zonas marítimas. Resiste la acción del agua, no se emulsiona por contacto.

### **3.2 Propuesta de un sistema de protección anticorrosiva y conservación.**

Las normas UNE-EN ISO 12 944 de la 1-8: 1998 y UNE-EN ISO 11303: 2009 resultan ser los documentos publicados más completos sobre los sistemas de protección anticorrosiva y conservación, aunque tienen varias insuficiencias.

Las Normas UNE-EN ISO 12 944:1-8, 1998, abarcan desde los estudios para la clasificación del medio, hasta los proyectos de ejecución y mantenimiento, que incluyen el control de la calidad para la protección anticorrosiva, todo ello tratado a grandes rasgos en el análisis bibliográfico.

La Norma UNE-EN ISO 11303: 2009, proporciona las directrices para seleccionar los métodos de protección contra la corrosión atmosférica de los metales y de las aleaciones utilizando la clasificación de la corrosividad atmosféricas.

El Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensioactivos (CEAT), de la Facultad de Ingenierías Química y Mecánica de la Universidad de Matanzas ha desarrollado entre otras líneas de investigación, la relacionada con los Sistemas de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC), que abarca componentes, piezas, equipos y estructuras, de acuerdo con una metodología desarrollada que se reporta en (Echeverría, C.A. et al. 2010).

### **3.2.1 Agresividad corrosiva de la atmósfera.**

El primer paso para la aplicación del SIPAYC es la determinación del nivel de la agresividad corrosiva de la zona donde está ubicada la Central Eléctrica. En la Norma UNE EN ISO 12944: 2:1998 se establece la clasificación de la atmósfera, además nos podemos guiar por el Mapa de Agresividad Corrosiva de la República de Cuba (Anexo 1). La agresividad corrosiva determina las medidas a tomar para darle solución a los problemas de diseño anticorrosivo, así como la preparación superficial que se tiene que lograr, los espesores de la pintura que se debe aplicar y los productos para la protección anticorrosiva y conservación adicional que se apliquen y el tiempo en que resultan efectivos los mismos.

En trabajos realizados en el polo turístico de Varadero se llega a la conclusión que el nivel de corrosión es de alta a muy alta, por encontrarse aproximadamente a un kilómetro de la costa con apantallamiento.

Lo anterior justifica que el nivel de agresividad en la Central Eléctrica Diesel MTU de Varadero es C4, sin considerar que en la propia instalación se generan gases corrosivos por la combustión.

La agresividad corrosiva de la atmósfera se debe considerar en todo momento, pero hay fechas del año en que son más significativas. Al respecto en Cuba, existen dos períodos del año, uno de octubre a marzo que coincide con el período de los frentes fríos y de seca, donde penetra con mayor cantidad y frecuencia el aerosol marino, siendo este período no recomendable para las labores de mantenimiento de protección anticorrosiva y conservación.

El otro de abril a septiembre, que coincide con el período de lluvia, donde hay menos influencia del aerosol marino y las superficies metálicas son frecuentemente lavadas y descontaminadas por la lluvia. Este período es el más recomendado para estas labores.

### **3.2.2 Diseño anticorrosivo.**

Al analizar la Norma Internacional ISO 12944: 3: 1998 donde se aborda los problemas de diseño en la protección anticorrosiva con pinturas, pero esta aun es insuficiente en las soluciones que propone. Seguidamente veremos las soluciones que se proponen en el sistema propuesto.

➤ **Par metálico:** La solución es evitar la unión de metales de diferente naturaleza y de realizarse tratar de aislar ambos metales con mástiques asfálticos semisólidos DISTIN 403 y/o pintar el material más noble.

**Uniones con pernos:** La solución es la preparación de la superficie de los pernos, tuercas y arandelas con DISTIN 504 , pintarlos y después colocarlos con mástique semisólido DISTIN 403, para rellenar los orificios que quedan. Una vez que se produzca el apriete, se pintan nuevamente. También se emplea la grasa de conservación DISTIN 314 .

➤ **Accesibilidad:** Una de las soluciones es convertir las áreas en un componente hueco o en un área cerrada. En la primera se cierran los accesos con laminados soldados. Se le practican orificios de accesos en puntos superiores y drenaje en las partes inferiores, para que pueda ser protegida interiormente mediante la atomización de la Grasa Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L. En la segunda se prepara una tapa o cubierta que pueda ser retirada, cuando las labores de mantenimiento lo requieran. Antes de colocar la tapa o cubierta se aplica interiormente por atomización Grasa Líquida tipo Solvente DISTIN 314 L.

➤ **Soldaduras:** En las irregulares la solución es emparejarla con cepillo o lija y posteriormente preparar la superficie y pintar. En las discontinuas la solución es atomizar Grasa Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L y completar la soldadura de forma continua y pareja para después preparar la superficie y pintar.

➤ **Bordes:** La solución en estos casos es redondear los bordes usando una lima o algún equipo eléctrico, para posibilitar la aplicación de la capa protectora de modo uniforme y para lograr el espesor de la película adecuada. Se aplica la Cera

Abrillantadora e Impermeabilizante Líquida DISTIN 603.

- **Orificios o resquicios:** En este caso se recomienda las llamadas uniones blandas, es decir, preparar la superficie, pintar, colocar mástique asfáltico semisólido DISTIN 403. Una vez montada, se corta el sobrante. Cuando ya existen la mejor manera es aplicar Grasas Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L y posteriormente aplicar mástique asfáltico semisólido DISTIN 403.
- **Zonas de acumulación y depósitos:** Las formas de atenuar su efecto una vez creadas son mediante la práctica de orificios de drenaje que faciliten la salida del agua y depósitos y por otro lado producir superficies inclinadas mediante la aplicación de Mástique Semisólido DISTIN 403.
- **Componentes huecos y áreas cerradas:** La solución en estos casos es proteger interiormente con Grasa Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L, por atomización, colocando tapones en los accesos y drenajes; y el Mástique Asfáltico Líquido tipo solvente DISTIN 403 L.

### **3.2.3 Preparación superficial previa a los recubrimientos de pintura en la instalación.**

Existen muchos elementos para argumentar que la preparación previa de la superficie resulta de vital importancia en la aplicación de los recubrimientos.

Al encontrarse la Central Eléctrica Diesel de Varadero en un ambiente agresivo, la preparación superficial del mismo es fundamental, ya que la durabilidad de los recubrimientos está dada por la calidad de la preparación superficial previa; pero debido a las regulaciones ambientales no es posible usar métodos a chorro que es el establecido para estos casos por la norma objeto de estudio.

Para lograr una preparación superficial similar a la de la norma es necesario combinar el método manual mecanizado con métodos químicos.

Siempre es necesario tener en cuenta el tipo de metal y estado superficial, la forma y tamaño de la pieza o instalación, el tipo de recubrimiento a aplicar, los medios técnicos disponibles, el tiempo de duración deseado, ya que estos factores son indispensables para una buena preparación previa eficiente.

En nuestro caso el estado inicial del material es de grado C ya que existe pérdida de cascarilla por corrosión debido a que el acero ha estado expuesto a la atmósfera por más de un año sin que se observen a simple vista picaduras.

Algunos pasos fundamentales para la preparación previa son: el desengrasado, el decapado, los enjuagues intermedios y finales y en dependencia de la situación el pasivado.

El método manual mecanizado, está basado en el empleo de cepillos de alambre con taladros, lijas y discos abrasivos, luego se limpiarán las superficies con un aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o un cepillo limpio, para adquirir un suave brillo metálico. Estos métodos tienen un mayor rendimiento que los manuales pero aun no logran una superficie bien preparada para recibir posteriormente el recubrimiento. Con este método se logra una superficie con preparación St2.

Por lo que después es necesario aplicar la Disolución de Fosfatado Decapante DISTIN 504, con lo cual se logra un acabado similar al Sa 21/2 que es el requerido por las normas, además de poseer una superficie con una protección.

El aplicar las disoluciones de fosfatado no solamente durante la preparación superficial previa, sino también en la conservación temporal le permite tratar superficies pintadas con manchas de óxido, eliminado la mancha, penetrando a fondo y fosfatando las partes oxidadas, con lo cual se recupera el aspecto original y queda en condiciones para la aplicación de la pintura o de la Cera abrillantadora e impermeabilizante DISTIN 603 L.

El objetivo del método propuesto es la de obtener un perfil de anclaje que asegure la buena adherencia mecánica del recubrimiento.

Las superficies tratadas con disolución de fosfatado no requieren de ser enjuagadas pero en todos los casos es fundamental el secado de la superficie metálica, pues afecta directamente a la adherencia.

#### **3.2.4 Selección del recubrimiento de pintura para el sistema.**

Para la selección del sistema de pintura adecuado hay que tener en cuenta lo establecido en la Norma UNE EN ISO 12944: 5: 1998, que posee tablas que proponen sistemas de pinturas adecuadas a las condiciones de agresividad existentes. Para la selección del sistema de pintura hay que saber el nivel agresividad corrosiva de la

atmósfera, en nuestro caso es C4, además hay tener en cuenta el tiempo de duración del sistema de pintura que para la Central Eléctrica se propone una duración de 2 a 5 años categorizándose de durabilidad baja. Este tiempo no es necesariamente un periodo de garantías, pero sirve para poder planificar los periodos de mantenimientos.

De forma General tenemos que el sistema tiene que cumplir con el número S4.08, con un grado de preparación superficial similar al Sa 2 ½. El tipo de ligante es Clorocaucho (CR). El número de capas de imprimación es 2 y la de acabados 3, siendo siempre el espesor por capas de 40 µm para un espesor total de 200 µm.

Cumpliendo este esquema tenemos que para el área de centrifuga el primario sería Hempadur 45880 y las de acabado Polyenamell 55100 y Hempalin 52140.

Todas las pinturas antes señaladas pertenecen a la firma HEMPEL y son las que utilizan las instalaciones y equipos de la Central Eléctrica Diesel MTU de Varadero, por lo que en los casos que los requiera no es necesario remover todo el esquema de pintura existente.

De darle solución a los problemas de diseño anticorrosivo existentes en la Central Eléctrica y la preparación superficial como se señalo anteriormente, los resultados serán satisfactorios, lográndose una durabilidad de 5 años, que es el tiempo que por lo general establece la norma para este tipo de agresividad.

Todos los pasos para la aplicación de los recubrimientos de pinturas deben ser controlados, ya que es la garantía de que los esquemas de pinturas propuestos den los resultados esperados. Se debe controlar desde el momento en que se adquiera la pintura hasta que se haya obtenido el espesor final del recubrimiento.

### **3.2.5 Protección anticorrosiva adicional y conservación. Fundamentación del sistema.**

En los análisis anteriormente realizados ha quedado demostrado que las normas (UNE-EN ISO 12 944: 1-8, 1998), no son suficiente para darle solución a todos los problemas de corrosión existentes en cuanto a la protección adicional a emplear, ya que no señala qué productos pueden ser utilizados.

Como se ha venido diciendo, como protección anticorrosiva adicional son recomendables los productos DISTIN, por su efectividad ya demostrada por el

laboratorio LABET, por su fácil manejo a la hora de aplicarse y por los bajos costos que representa a la hora de dar mantenimiento ya que son de producción nacional.

El Mástique Asfáltico Semisólido DISTIN 403, se aplicaría dentro del sistema de mantenimiento en las uniones solapadas con pernos, una vez pintadas, para eliminar los orificios que se forman tanto en el solape, entre el perno y el orificio, entre la arandela y la tuerca, produciendo las llamadas uniones “húmedas”.

En las uniones con bridas, para el problema de orificio en los pernos una vez pintados y para rellenar los orificios que quedan entre la junta y las bridas.

En las uniones metal – hormigón y metal- mortero, después de aplicado el recubrimiento de pintura sobre el metal.

En la eliminación o atenuación de las zonas de acumulación de depósitos y agua, con el cual se pueden producir superficies inclinadas o rellenar hendiduras.

Cuando se efectúa otro mantenimiento que implica la destrucción de los recubrimientos, estos tienen que ser restituidos, aunque aún no se cumpla con la durabilidad establecida para el producto, que puede garantizar la durabilidad de 5 años para los recubrimientos de pinturas, como se desea.

El Mástique Asfáltico Líquido tipo solvente DISTIN 403 L, puede ser atomizado para que penetre en componentes huecos con alta humedad que tienen que ser impermeabilizados, tales como la parte del interior de los tubos de los soportes de las tuberías de petróleo, en los orificios de aquellas uniones que no pueden ser separadas durante las labores de mantenimiento, para proporcionar una protección adicional a pernos, tuercas y arandelas.

Este cumple por lo general una protección temporal, por tanto tiene que establecerse en los planes de mantenimiento un período de control anual del estado de las superficies protegidas con estos productos. Posteriormente a partir de la experiencia práctica, puede extenderse o disminuirse estos plazos.

Las grasas de conservación DISTIN 314, DISTIN 314 L, son grasas de conservación semisólidas y líquida base solvente que encuentran aplicaciones en la protección anticorrosiva y conservación.

En la conservación y lubricación de los vástagos de las válvulas, en la conservación temporal de tuercas, pernos y arandelas durante las operaciones de mantenimiento

frecuente. Se utilizan para la conservación de los recubrimientos de pintura en zonas de difícil acceso y áreas cerradas.

En la parte inferior de los soportes de la centrífuga y bombas de combustibles donde no es posible preparar las superficies y aplicar recubrimiento de pintura, en zonas inaccesibles, en el sellado de los orificios en las uniones acero – hormigón.

Esta cumple por lo general una protección temporal, por tanto tiene que establecerse en los planes de mantenimiento un período de control anual del estado de las superficies protegidas con estos productos. Posteriormente a partir de la experiencia práctica, puede extenderse o disminuirse estos plazos.

La Cera Abrillantadora e Impermeabilizante DISTIN 603 L, está preparada para la conservación de superficies metálicas pintadas, en las cuales penetra a fondo, impermeabiliza los poros, impidiendo la penetración del agua y el oxígeno.

Dentro de las aplicaciones está la conservación de los recubrimientos de pinturas en pizarras de control y en general sobre todas las superficies que han sido pintadas, ya que puede eliminar manchas y evitar la penetración del agua.

Esta cumple una protección temporal, de meses, en función de las condiciones de agresividad a que esté sometido el equipo. Por tanto, tiene que establecerse en los planes de mantenimiento un período de control y reposición en este caso mensual. Posteriormente a partir de la experiencia práctica, puede extenderse o disminuirse estos plazos y ajustarse a las condiciones de explotación de cada equipo.

La Disolución de Fosfatado Decapante DISTIN 504, está diseñada para la preparación rápida de superficies metálicas oxidadas y superficies metálicas no oxidadas respectivamente, dejando así una superficie limpia para su posterior tratamiento de pintado.

Esta cumple una función temporal antes de cada mantenimiento de pintado dependiendo del tiempo de durabilidad de la misma. Además se pueden utilizar cuando existen manchas de óxido sobre las superficies pintadas, las que quitan las manchas de óxido y mantienen la pintura para posteriormente pintar las partes dañadas.

Por todo lo antes expuesto, se fundamenta en el trabajo la aplicación de la norma (UNE-EN ISO 12 944: 1-8: 1998) en todos sus aspectos, complementándola con lo siguiente:

- Identificar la agresividad corrosiva de la atmósfera para la instalación objeto de estudio y los principales agentes causantes del deterioro.
- Identificar los principales problemas de diseño anticorrosivo y proponer las formas de atenuación o eliminación.
- La preparación superficial previa, incluyendo los tratamientos manuales mecanizados y las disoluciones de fosfatado.
- Selección y aplicación del sistema de pintura adecuado.
- La aplicación de los productos DISTIN, las cuales se han evaluado y certificado como parte de la presente investigación.
- Completar el sistema con la conservación preventiva de forma periódica, incluyendo la limpieza y aplicación de los productos de conservación antes referidos.

Como medidas complementarias tenemos el lavado de las superficies metálicas para eliminar los contaminantes que puedan depositarse sobre las superficies. Por otro lado tenemos el apantallamiento con el terreno y la vegetación para impedir que los agentes contaminantes presentes en la atmósfera lleguen y se depositen sobre las superficies metálicas.

Este sistema de protección anticorrosiva y conservación, se ha aprobado para su generalización y aplicación en las Centrales Eléctricas Diesel MTU con las que cuenta la Unión Nacional Eléctrica (UNE) mediante el Manual de Gestión de la Generación Distribuida.

### 3.3 Carta Operacional.

La carta operacional es un documento oficial por el que deben regirse los operarios encargados de llevar a cabo los trabajos de aplicación de los SIPAYC. Estos documentos están aprobados a nivel nacional y están incluidos en el manual de la gestión del mantenimiento para la Generación Distribuida.

#### 3.3.1 Carta de la Centrifuga.

<b>Ejecutor (cargo o función):</b> Operador. (Personal especializado)	<b>No de Ejecutantes:</b> 2 ó 3 Personas.
<b>Donde:</b> Superficies metálicas, protección exterior de la centrifuga	<b>Tiempo de Ejecución</b>

<b>Cuando (ciclo):</b> Según plan de mantenimiento y/o estado de la centrifuga.	S/Cronograma.
<p><b>Recursos Necesarios:</b> Mascarillas, espejuelos protectores, guantes, botas, overol, brochas, rodillos, estopas, cepillos mecánicos, cepillos de alambre, lija, piquetas, paños, rasquetas, espátulas, electrodos para soldar, máquina para soldar, compresor para el suministro de aire, Pistolas (sin aire comprimido y con aire comprimido, con sus respectivas boquillas), Termómetro de máxima y mínima Higrómetro, Copa para medir la viscosidad y un cronómetro, Medidor de espesor de capa húmeda, Recipientes para tomar muestras de pinturas, Espejo y linterna, Medidor de espesor de capa seca, Detector de poros</p>	
<p><b>Cuidados Especiales:</b> El área de trabajo tiene que ser ventilada e iluminada. Debe existir protección contra incendios y un dispositivo de seguridad que debe estar listo en caso de ocurrir algún accidente. Se prohíbe fumar durante la aplicación de recubrimientos.</p>	
<p><b>Calidad Asegurada:</b> Cada capa de pintura se aplicará de forma que se obtenga una película continua de espesor uniforme y libre de poros, según la norma UNE- ISO-12944- 5. La aplicación de los productos DISTIN será tal y como se refleja en las fichas técnicas de los diferentes productos que fueron certificados por los laboratorios LABET.</p>	
<b>Pasos:</b>	<b>Descripción:</b>
1	<p>Eliminar los diferentes tipos de problemas de diseño anticorrosivo que no necesitan la aplicación de productos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Los bordes deben ser redondeados o biselados. Estos problemas están presente en las estructuras metálicas de la centrifuga, tanque colector de desecho, soporte del techo.</li> <li>● Las soldaduras deben ser continuas y deben estar libres de superficies irregulares, las que se encuentran en los soportes del motor de la centrifuga. Techo de la estación de bombeo en las discontinuas se debe rellenar con mástique asfáltico.</li> </ul>
2	<p>Preparar la superficie metálica para eliminar todas las sustancias que puedan interferir en el rendimiento de los diferentes recubrimientos utilizando</p>

	<p>fundamentalmente el método mecánico, de contratarse el servicio a brigadas profesionales se puede aplicar el chorreado con abrasivos.</p> <p>Con la limpieza manual se pretende eliminar la herrumbre, cascarilla o pintura que se encuentre suelta.</p>
3	<p>La preparación de superficie por medios mecánicos debe tener el siguiente grado de limpieza:</p> 
4	<p>La eliminación de la pintura suelta o no adherida se efectuará mediante el empleo de rasqueta o cepillo y en ocasiones la lija. La pintura no eliminada deberá tener la suficiente adherencia para que no pueda ser levantada en láminas al insertar bajo la misma la cuchilla de una navaja sin filo.</p>
5	<p>Los bordes de la pintura vieja que no se eliminan deberán ser biselados de forma que después del repintado se consiga una superficie lisa.</p>
6	<p>Después de acabada la limpieza por métodos mecánicos, deberá eliminarse mediante cepillos de fibras o brochas rígidas, el polvo y cualquier materia extraña que puede haberse depositado sobre la superficie preparada. <b>En ningún caso se utilizarán trapos para esta operación.</b> Si se observan manchas de aceite o grasa, se limpiarán con un disolvente o detergente.</p>
7	<p>Concluida la preparación superficial aplicar la fosfatación con el DISTIN 504 con un paño o brocha, frotándolo sobre la superficie, aplicar tres manos con un intervalo de 30 min., esperar como mínimo 48 hrs. para aplicar esquema de pintura. Se debe lograr una superficie similar a:</p> 
8	<p>Antes de aplicar esquema de pintura, lavar la superficie con agua a presión, para eliminar posibles contaminantes de Aerosoles marinos.</p>
9	<p>Aplicar esquema de pintura utilizando pinturas por secado físico logrando:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Capa primaria: 1 mano de 200 <math>\mu\text{m}</math> de Hempadur 45880, total 200 <math>\mu\text{m}</math>.</li><li>▪ Capa de acabado: 2 manos de 40 <math>\mu\text{m}</math> de Polyenamell 55100 c/u, total 80</li></ul>

	<p>µm.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capa de acabado: 2 manos de 40 µm de Pintura Hempalin 52140 c/u, total 80 µm.</li> <li>▪ Lograr un espesor total de película seca de 280 µm</li> <li>▪ Los esquemas de pinturas se aplicaran con brochas o por proyección según corresponda.</li> </ul>
<b>10</b>	El pintado a brocha se realizará de forma que se obtenga una capa lisa y de espesor uniforme en lugares de difícil acceso, bordes, uniones en T y/o cuando se utilicen pinturas que contienen productos tóxicos. Se pintarán en lo posible todas las hendiduras. y esquinas. Las acumulaciones o descuelgues de pintura se extenderán con la brocha.
<b>11</b>	Se aplica el rodillo en las pinturas de acabado.
<b>12</b>	Seguir las instrucciones del fabricante de las pinturas, en cuanto a tiempo de secado e intervalo de repintado. Consultar ficha técnica del producto.
<b>13</b>	Las capas de recubrimientos brillantes que puedan perjudicar la adherencia de la capa siguiente se tratarán con abrasivos suaves, con disolventes u otro método adecuado que no influya en la duración de la pintura.
<b>14</b>	Todos los pasos deberán ser controlados como una etapa más en la ejecución de los trabajos de aplicación de recubrimientos.
<b>15</b>	Una vez pintadas las estructuras, no deben ser objetos de manipulaciones. Se exceptúan las imprescindibles
<b>16</b>	Las zonas que resulten dañadas deberán raspase y retocarse con el mismo número de capas y clase de pintura.
<b>17</b>	Solucionar los diferentes tipos de problemas de diseño mediante la aplicación de los productos DISTIN siguiendo las instrucciones de las fichas técnicas de los productos.
<b>18</b>	<p>Solucionar los problemas de tratamiento de los orificios presente entre soporte metálico de la bomba y el hormigón, pizarra de control. .</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atomizar grasa de conservación líquida tipo solvente DISTIN 314L, Cubriendo todo el interior del orificio.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Limpiar con trapo seco y limpio los residuos de la grasa aplicada.</li><li>▪ Sellar la entrada del orificio con mástique asfáltico semisólido con goma DISTIN 403.</li><li>▪ Eliminar los sobrantes del mástique asfáltico semisólido.</li></ul>
<b>19</b>	<p>Solucionar los problemas de prevención de la corrosión galvánica presente en las válvulas, accesorio de la bomba, entre la unión del techo de zinc galvanizado y los soportes metálicos.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Si el diseño es tal que el par galvánico no puede evitarse, las superficies en contacto deberían estar aisladas eléctricamente con mástiques asfálticos semisólidos DISTIN 403 y/o pintar el material más noble con el mismo esquema de pintura que el resto de las estructuras metálicas.</li></ul>
<b>20</b>	<p>Solucionar los problemas en las uniones con pernos, tuercas y arandelas.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Sacar el perno.</li><li>▪ Limpiar la superficie de los pernos, tuercas y arandelas, eliminando la grasa que pueda existir y el óxido. Con el empleo cepillo de alambre, lijas y nafta u otros productos químicos.</li><li>▪ Sumergir los pernos, las tuercas y las arandelas en disolución de fosfatado por un tiempo no mayor de 1 minuto.</li><li>▪ Pasado 48 hrs. de aplicada la disolución se procede al pintado con pintura anticorrosiva por el método de inmersión.</li><li>▪ Una vez seca la pintura se le aplica mástique asfáltico a la ranura de la tuerca y al perno.</li><li>▪ Se procede al roscado del perno.</li><li>▪ Se pinta la parte del perno que haya sido dañada por las tuercas en el momento del apriete.</li><li>▪ Se procede a sellar los posibles orificios que queden en la unión de los pernos con las válvulas.</li></ul>
<b>21</b>	<p>Solucionar los problemas de retención de humedad, depósitos y agua.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Una de las soluciones es la práctica de orificios de drenaje que faciliten la salida del agua y los depósitos.</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Otra solución es la de producir superficies inclinadas mediante la aplicación de Mástique asfáltico Semisólido con goma DISTIN 403.</li><li>▪ Eliminar los sobrantes del mástique asfáltico semisólido.</li></ul>
<b>22</b>	<p>Solucionar los problemas de los componentes huecos.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ La solución en estos casos es proteger interiormente con Grasa Líquida Tipo Solvente DISTIN 314 L y DISTIN 403L, por atomización.</li><li>▪ Limpiar con trapo seco y limpio los residuos de la grasa aplicada.</li></ul>
<b>23</b>	<p>Aplicar la Cera Abrillantadora e impermeabilizante DISTIN 603 L según la ficha técnica del producto sobre todas las superficies metálicas que hayan sido pintadas.</p>
<b>24</b>	<p>Control de la calidad de los trabajos realizados, los mismos se realizarán por etapas.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Revisión de la certificación de calidad de los productos empleados.</li><li>▪ Revisión de la calidad de los trabajos de preparación superficial.</li><li>▪ Revisión de la calidad de los esquemas de pinturas aplicados, por etapas de aplicación.</li><li>▪ Control de la calidad a la solución de los problemas de diseños anticorrosivos.</li><li>▪ Control de la calidad de la aplicación de los productos anticorrosivos DISTIN.</li><li>▪ Control final de la aplicación del sistema.</li></ul>

### **3.4 Algunos resultados económicos esperados.**

#### **3.4.1 Aplicación de los productos DISTIN.**

En primer lugar hay que tener en cuenta lo que cuestan los equipos e instalaciones que serán objeto de estudio para tener idea de lo necesario de la conservación (Ver Tabla 3).

Tabla 3: Costos de los equipos e instalaciones del Área de centrifuga.

Nombre.	Cant.	CUP	CUC
Centrifuga	2	-----	2 834.90
Bomba de combustible	2	-----	3957.28
Válvula de 3" con brida	2	46.88	403.44
Válvula de 4" con brida	11	445.06	4600.2
Válvula de 1" con brida	2	36.05	164.56
<b>Total</b>		527.99	11 960.38

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior podemos observar que la inversión en el área de centrifugas de la Central Eléctrica asciende a más de 500 de pesos en CUP y más de 11 mil en CUC, lo que demuestra la importancia de conservar las instalaciones y equipos. La aplicación de los SIPAYC puede alargar el tiempo de vida útil de los diferentes equipos.

En la tabla 4 se observa el costo de los productos *DISTIN* que se proponen en la aplicación del SIPAYC. De ella se observa que el costo es mucho menor en ambas monedas que lo que cuestan los equipos de la Central Eléctrica, por lo que por su probada calidad es conveniente su aplicación antes de tener que invertir para poder montar la Central Eléctrica nuevamente.

Tabla 4. Consumo y costo de los productos *DISTIN*

Materiales Y operaciones	UM	CU MN	CU CUC	TOTAL A UTILIZAR	CT MN	CT CUC
DISTIN 314	kg.	4,21	1,07	1,0	4,21	1,07
DISTIN 314 L	L	3,43	1,12	1,5	5,15	1,68
DISTIN 403 L	L	3,43	1,12	1,0	3,43	1,12
DISTIN 403	kg.	2,04	0,65	2,0	4,08	1,30
DISTIN 603	L	6,28	0,76	1,0	6,28	0,76
DISTIN 504	L	3,07	0,48	8,0	24,56	3,84
Total					47,71	9,77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Consumo y costo del mantenimiento y reparación de pinturas anuales.

Materiales y operaciones	UM	CU MN	CU CUC	TOTAL A UTILIZAR	CT MN	CT CUC
Pintura Hempadur 45880	L	0,68	3,18	8	5,44	25,44
Pintura Polyenamel 55100	L	0,27	1,19	4	1,08	4,76
Pintura Hempalin 52140	L	0,24	1,14	1	0,24	1,14
Diluyente	L	0,69	3,2	8	5,52	25,6
Rodillos	U	1,53	9,58	10	15,3	95,8
Brochas	U	0,66	3,03	8	5,28	24,24
Total					32,86	176,98

**Fuente: Elaboración propia.**

Para obtener el consumo de los productos DISTIN se tomaron las medidas de las zonas a aplicar, pues con el área y de acuerdo con el rendimiento de los mismos según las fichas técnicas de los productos, ver anexos del 5 al 10, se determina el consumo.

La aplicación de los productos DISTIN se realiza en el primer año de forma completa y posteriormente se aplica en dependencia del estado de las superficies de los equipos y componentes, aunque en el consumo de los mismos se tiene en cuenta este aspecto.

Teniendo en cuenta que la aplicación del SIPAYC protege los equipos y componentes del área de centrifuga de la Central Eléctrica por un período de cinco años contra la corrosión, la frecuencia de los gastos laborales por mantenimiento y reparación de pinturas incluyendo la aplicación de los sistemas de pintura dejaría de ser anual para efectuarse cada cinco años.

Por lo antes expuesto los resultados de los costos para cinco años para la aplicación del SIPAYC sería la suma de los costos del mantenimiento y reparación de pinturas anuales incluyendo los costos de los productos DISTIN a aplicar lo que equivale a 80,57 MN y 186.75 CUC.

De acuerdo a los costos del mantenimiento y reparación de pinturas anuales, entonces para cinco años se tendría un costo de 164.3 MN y 884.9 CUC. Entonces, el ahorro que propicia la aplicación del SIPAYC sería la resta de estos valores con los gastos que se tendría para aplicarlo, trayendo un ahorro de 83,73 MN y 698.15 CUC.

### **3.5 Conclusiones parciales del capítulo.**

1. Todos los productos DISTIN que fueron evaluados por los laboratorios LABET pasaron las pruebas de los ensayos de forma satisfactoria.
2. La norma (UNE-EN ISO 12944: 1 – 8, 1998), aunque es el único documento que mas abarca la solución a los problemas de diseños anticorrosivos, es insuficiente y puede ser mejorada con el empleo de los productos DISTIN de producción nacional.
3. El esquema de pintura propuesto para la instalación está acorde a lo establecido en las normas internacionales para la agresividad imperante, donde la preparación de la superficie juega un papel fundamental.
4. Con la aplicación del SIPAYC en el área de centrífuga la Central Eléctrica lograra un ahorro en cinco años por los conceptos de gastos laborales por mantenimiento y reparación de equipos y de aplicación de los sistemas protectores de pinturas de 83,73 MN y 698.15 CUC.

## *Conclusiones*

1. La fundamentación de un sistema de protección anticorrosiva y conservación para el área de centrífuga de la Central Eléctrica ubicada en una zona con agresividad corrosiva de muy alta permitirá disminuir el deterioro por corrosión y cumplir la hipótesis planteada.
2. Del análisis realizado se demuestra que la norma UNE-EN ISO 11303. 2009, es insuficiente en el tratamiento a los problemas de diseño anticorrosivo y de corrosión, donde la mayoría de los casos no precisa la protección anticorrosiva adicional que se requiere.
3. La aplicación de las cartas tecnológicas para cada equipo, donde se propone el sistema de protección anticorrosiva y conservación que se fundamenta justifica el empleo de los productos DISTIN en la conservación adicional.
4. Con la aplicación del SIPAYC la Central Eléctrica lograra un ahorro en cinco años por los conceptos de gastos laborales por mantenimiento y reparación de equipos y de aplicación de los sistemas protectores de pinturas de 83,73 MN y 698.15 CUC.

## *Recomendaciones*

1. Aplicar y generalizar el sistema de protección anticorrosiva y conservación propuesto para la instalación, por sus ventajas técnicas y económicas y las soluciones propuestas a los problemas de diseño anticorrosivo que actualmente no se tratan.
2. Atender el control de la aplicación de todos los pasos para la aplicación del sistema de protección anticorrosiva y conservación.

## *Bibliografía*

- Albrecht, P., Hall, T. 2003. Atmospheric corrosion resistance of structural steels. *Materials in Civil Engineering* **15**(1): 2-24.
- Almeida, E. et al. 2006. Anticorrosive painting for a wide spectrum of marine atmospheres: Environmental-friendly versus traditional paint systems. *Progress in Organic Coatings* **57**(5): 11–22.
- Betancourt, N. et al. 2002. Influence of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> on atmospheric corrosion of steel. *Revista CNIC. Serie Ciencias Químicas* **33**(2): 71-75.
- Berenguer, DC. 2002 La corrosión por problemas de diseño anticorrosivo en condiciones climáticas de Cuba. Soluciones con productos y tecnologías nacionales. ISBN 959 - 16 - 0190 - 5. T 21.
- Bhaskar, S. et al. 2004. Cumulative damage function model for prediction of uniform corrosion rate of metals in atmospheric corrosive environment. *Corrosion Engineering, Science and Technology* **39**(4): 313-320.
- Biezna, M., San Cristóbal, J. 2005. Methodology to study cost of corrosion. *Corrosion Engineering, Science and Technology* **40**(4): 344-352.
- Cole, I.S. et al. 2003. Holistic model for atmospheric corrosion Part 1 – Theoretical framework for production, transportation and deposition of marine salts. *Corrosion Engineering, Science and Technology* **38**(2): 129-134.
- Cook, D.C. 2005. Spectroscopic identification of protective and non-protective corrosion coatings on steel structures in marine environment. *Corrosion Science* **47**(6): 2550-2570.
- Corvo, F.; Betancourt, N.; Mendoza, A. 1995 Influencia de la salinidad de la atmósfera sobre la corrosión del acero. XII Seminario Científico CNIC. Corrosión'95. Encuentro Nacional del Área de Investigación, Desarrollo y Lucha contra la Corrosión. C. Habana.
- Domínguez, J., D. Castro, et al. 1987. Introducción a la corrosión y protección de metales. Ediciones ENPES. La Habana, Cuba.

- Echeverría, C.A. et al. 2000. Influencia de la corrosión atmosférica en la industria azucarera cubana. Revista Centro Azúcar (3): 83-86.
- Echeverría, C.A. et al. 2001. Estudio de los problemas de corrosión, diseño anticorrosivo y protección en el Complejo Paradiso Puntarenas. Propuesta de soluciones. Matanzas. Universidad de Matanzas.
- Echeverría C. A; Rodríguez J. E; Agüero J; González A; Beatón M. 2002. La corrosión por problemas de diseño anticorrosivo en condiciones climáticas de Cuba. Soluciones con productos y tecnologías nacionales. Memorias.
- Echeverría, C.A. 2003 (a). Métodos de protección a la atmósfera. Matanzas, Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), Universidad de Matanzas. Conferencia especializada.
- Echeverría, CA., et al. 2003 (b). Estudio de los problemas de corrosión diseño anticorrosivo y protección en el Complejo Paradiso Puntarenas. Propuesta de soluciones. Informe Final del Contrato Marco entre el Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), de la Universidad de Matanzas " Camilo Cienfuegos " y el Complejo Hotelero Paradiso -Puntarenas.
- Echeverría, C.A. et al. 2003 (c). Registro de Autor de Invención 4/2003: Procedimiento de conservación anticorrosiva de carrocerías de automóviles. Cuba.
- Echeverría, C.A. et al. 2004. Corrosión atmosférica del acero en la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 959 – 16 – 0250 – 2.
- Echeverría, C.A. et al. 2005. El deterioro por corrosión de instalaciones turísticas. Retos Turísticos **3**(2): 21-30.
- Echeverría, C.A. et al. 2006. Esclarecimiento de los niveles de deposición de cloruros y sulfatos por diferentes métodos de captación establecidos internacionalmente en la Universidad de Matanzas. CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 959 – 16 – 0388 – 6.
- Echeverría, C. A., González, A. et al. 2008. Grasas de Conservación Anticorrosivas Características y Aplicaciones. Parte 1: Primeros desarrollos en la

Universidad de Matanzas y en Cuba. CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas.

- Echeverría, C.A. et al. 2008. Grasas de Conservación Anticorrosivas Características y Aplicaciones. Parte 1: Primeros desarrollos en la Universidad de Matanzas y en Cuba. CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 978-959-16-0632-7.
- Echeverría, M. et al. 2006. Goma reciclada en recubrimientos anticorrosivos y de la construcción. Memorias del IX Congreso Internacional de Reciclaje. RECICLAJE 2006, Palacio de Convenciones. La Habana, CUBA. ISSN-1607-6281.
- Echeverría, M. et al. 2007. Estudio y evaluación de materiales compuestos de matriz asfáltica modificado con polímeros (MAP) para su aplicación como recubrimientos anticorrosivos. CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 959-16-0490-4
- Echeverría, M. et al. 2008. Los Problemas de Diseño Anticorrosivo: Factores desencadenantes de la corrosión en condiciones climáticas de Cuba. Revista Retos Turísticos 7(1).
- Echeverría, M. et al. 2009. Influencia del diseño en la protección anticorrosiva en condiciones climáticas de Cuba. Revista Tecnología Química Vol. XXIX, No. 1.
- Espada, L.R. 2005. La corrosividad atmosférica: zonas costeras, de interior y agresivas. 5(1).[citado 13 abril 2012], Disponible en <http://www.nervion.com.mx.web>.
- Feliú, M.S et al. 1971. Principios de corrosión y protección de metales: Corrosión y protección. Vol. 2, No 4. Julio-Agosto.
- Fragata, F.,2002. La pintura como técnica de protección anticorrosiva. Corrosión y protección de metales en las atmósferas de Iberoamérica. Parte II-Protección anticorrosiva de metales en las atmósferas de Iberoamérica.
- González, A., 2009. Incidencia de la transferencia de tecnología en la conservación de grupos electrógenos en zonas de alta agresividad corrosiva.

Conferencia Internacional CIUM'2009. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.

- González, A. 2011. Contribución a la disminución del deterioro por corrosión de una Central Eléctrica Diesel MTU Serie 4000. Tesis presentada en opción al grado científico de máster en termoenergética industrial. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
- López, I. 2008. Corrosión atmosférica y conservación en obras soterradas en Matanzas. Departamento de Ingeniería Química. Matanzas, Universidad de Matanzas. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas: 116.
- Morcillo, M. et al. 2002 (a). Factors influencing the corrosion behavior of coated steel sheets in lap-joints. Report EUR 20067 EN.
- Morcillo, M. et al. 2002 (b). Corrosión y protección de metales en atmósferas de Ibero América. Parte II- Protección anticorrosiva de metales en las atmósferas de Ibero América (Red temática Pátina). Madrid.
- NACE Corporation. 2003. Costos de la corrosión y estrategias preventivas en los EE.UU. **2003**. [citado 2 marzo 2012], Disponible en <http://www.costosnace.com>.
- Ochoa et al. 2005. *Pinturas anticorrosivas*. Habana, Empresa Nacional de Pinturas.
- Otero, E. 2000. Corrosión y degradación de materiales. Madrid, Editorial Síntesis S.A.
- Roberge, P. 2000. Handbook of Corrosion Engineering. Quebec, McGraw-Hill Companies.
- Rodríguez, D., 2006 Estudio de la corrosión, diseño anticorrosivo y protección con pinturas. Propuesta de sistema de protección anticorrosiva y conservación para una instalación hotelera. Tesis presentada en opción al título de ingeniero. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
- Rodríguez, M.T. 2004. Formulación y evaluación de imprimaciones epoxis anticorrosivas curables a temperatura ambiente. Departamento de Ciencias

Experimentales. Castellón, Universitat Jaume I. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas: 251.

- ISO 9227: 2007. Ensayos de Corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.
- Rocha, José. Andradi da Silva. 2003. Productos electro – electrónicos en Ambientes Tropicales. Campiñas, SP: SITTA, gráfica.
- Rodríguez. et al. 2006. Desarrollo de aditivos para asfaltos modificados con bajos contenidos de hule. Publicación Técnica **160**.
- Samoilova, O.V., Zamyatina, O.V. 2005. Activity and Standards of ISO and IEC in the Field of Corrosion and Corrosion Protection. Protection of Metals **41**(2): 192–203.
- Schmidt, D.P. et al. 2006. Corrosion protection assessment of sacrificial coating systems as a function of exposure time in a marine environment. Progress in Organic Coatings **57**: 352–364.
- Shifler, D. 2005. Understanding material interactions in marine environments to promote extended structural life. Corrosion Science **47**(5): 2335-2352.
- Shixer, DA. 2005. Marine Corrosion Branch, CD., Naval Surface Warfare Center, Understanding material interactions in marine environments to promote extended structural life, Corrosion Science, 47. 2335-2352. [citado 2 marzo 2012], Disponible en <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).>
- Suveaut, O. 2006. Estudio de la corrosión atmosférica interior y exterior en dos estaciones de la provincia de Matanzas. Tesis presentada en opción al título de ingeniero. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
- Tomashov, ND. 1979 Theory of corrosion and protection of metals. La Habana. Edición Revolucionaria ed.
- Trejo, Y., 2006 Estudio y evaluación de mástiques asfálticos con goma como recubrimientos anticorrosivos e impermeabilizantes. Tesis presentada en opción al título de ingeniero. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"

- UNE-EN ISO 12 944-1. 1998. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 1: Introducción general.
- UNE-EN ISO 12 944-2. 1998. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes.
- UNE-EN ISO 12 944-3. 1998. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 3: Consideraciones sobre el diseño.
- UNE-EN ISO 12 944-4. 1998. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Part4: Tipos y preparación de superficies.
- UNE-EN ISO 12 944-5. 1998. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 5: Sistemas de pinturas protectores.
- UNE-EN ISO 12 944-8. 1998. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 8: Desarrollo de especificaciones para trabajos nuevos y mantenimiento.
- UNE-EN ISO 6270-2. 2006. Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 2: Métodos de exposición de probetas en atmósferas con condensación de agua.
- UNE-EN ISO 8501-1:2008. Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 1: Grados de óxido y de preparación de sustratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores.
- UNE-EN ISO 11303. 2009. Corrosión de metales y aleaciones. Directrices para la selección de métodos de protección contra la corrosión atmosférica.

## Anexo 1

### Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba



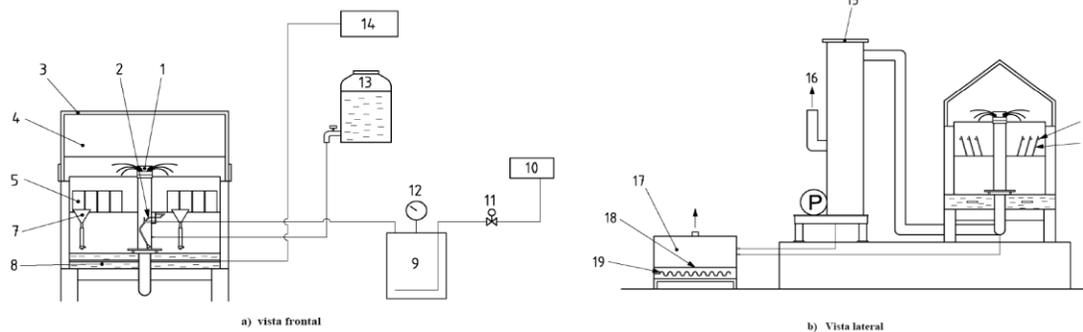
CORROSION ATMOSFERICA ISO 12944 Y VELOCIDAD DE CORROSION 1er año			
Ambiente	Corrosividad	Pérdida de Hierro /año	Pérdida de Zinc/año
C1 Rural seco	Muy baja	<= 10 gr./m <sup>2</sup>	<=0.7 gr. /m <sup>2</sup>
C2 Rural húmedo	Baja	10-200 gr./m <sup>2</sup>	0.7-5 gr./m <sup>2</sup>
C3 Urbano	Media	200-400 gr./m <sup>2</sup>	5-15 gr./m <sup>2</sup>
C4 Industrial	Alta	400-650 gr./m <sup>2</sup>	15-30 gr./m <sup>2</sup>
C5 Marino	Muy alta	650-1500 gr./m <sup>2</sup>	30-60 gr./m <sup>2</sup>

## Anexo 2

Tabla 2 – Condiciones de operación

Etapa del método de ensayo	Niebla salina neutra (NSS)	Niebla salina acética (AASS)	Niebla salina cuproacética (CASS)
Temperatura	$(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$
Velocidad media de recuperación de la solución para un área horizontal colectora de $80 \text{ cm}^2$	$(1,5 \pm 0,5) \text{ ml/h}$		
Concentración de cloruro de sodio (en solución recogida)	$(50 \pm 5) \text{ g/l}$		
pH (en solución recogida)	6,5 a 7,2	3,1 a 3,3	3,1 a 3,3

a)



Leyenda.

1--Torre de dispersión de la solución.

2--Pulverizador.

3--Cubierta.

4--Cámara de ensayo.

5--Probeta.

6--Soporte de las probetas.

7--Colector de la niebla.

8--Cámara.

9--Saturador de aire.

10--Compresor de aire.

11--Electroválvula.

12--Manómetro.

13--Depósito de la solución.

14--Control de temperatura.

15--Evacuación de la niebla después del tratamiento.

16--Orificio de salida de aire.

17--Evacuación del agua después del tratamiento.

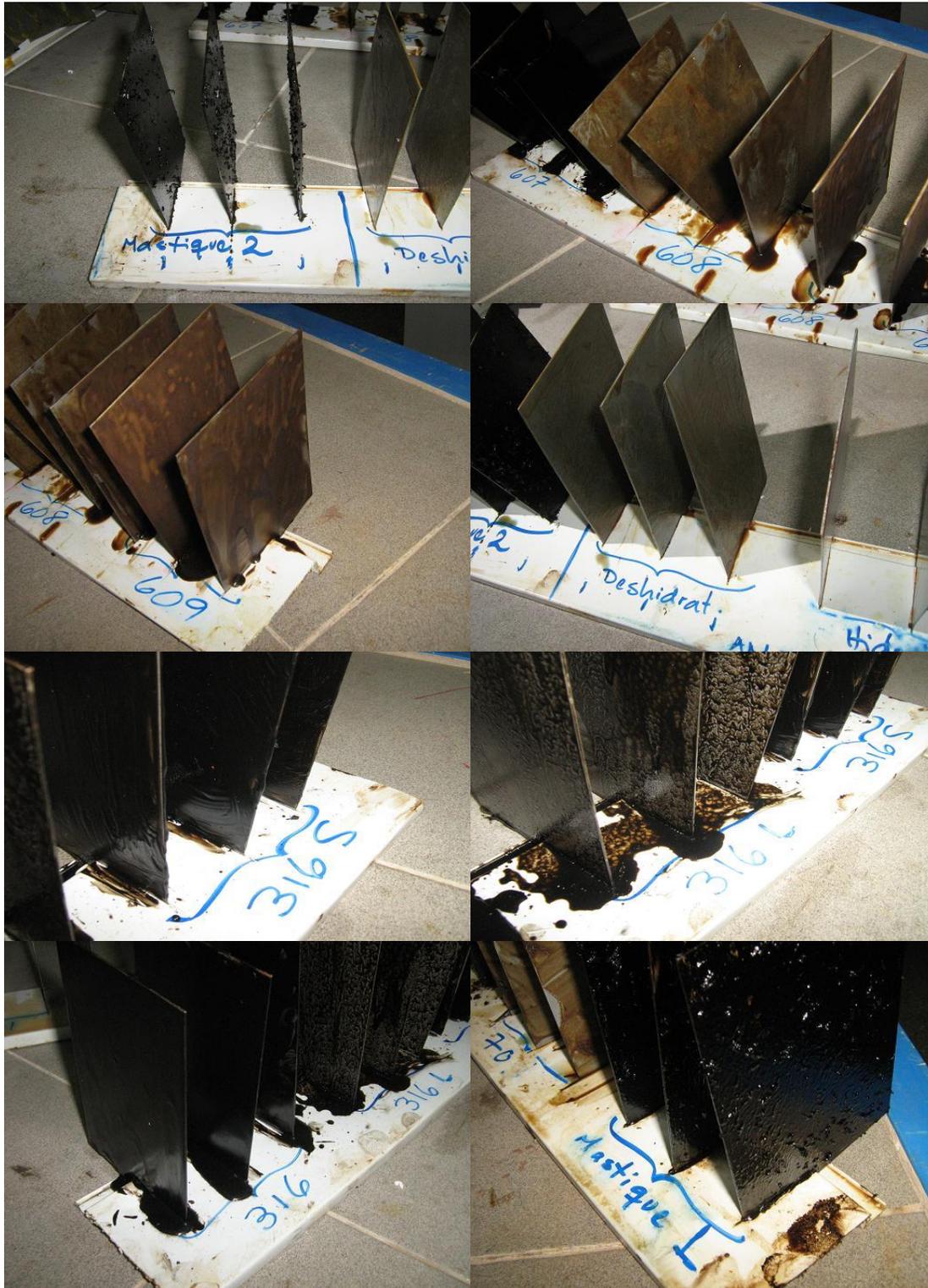
18--Bandeja de la sal.

19--Elementos de calefacción.

b)

### Anexo 3

Probetas de ensayos en el laboratorio LABET.



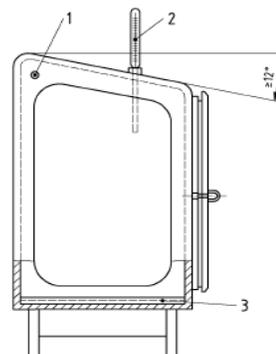
## Anexo 4

Tabla 1 – Atmósferas de ensayo con condensación

Atmósfera de ensayo		Duración del ciclo		Condiciones en la cámara después de alcanzar el equilibrio	
Tipo	Código	Periodo(s) de ensayo	Total	Temperatura del aire	Humedad relativa
Atmósfera de condensación con humedad constante	CH	Desde el calentamiento hasta el final de la exposición	1600 h	$(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$	100% aprox. con condensación sobre las probetas
Atmósfera de condensación alternante	AHT	8 h incluido calentamiento	24 h	$(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$	100% aprox. con condensación sobre las probetas
		16 h incluido enfriamiento (abriendo la cámara climática o ventilando)		18 °C a 28 °C	Ambiental, aproximadamente
Atmósfera de condensación alternante	AT	8 h incluido calentamiento	24 h	$(40 \pm 3) ^\circ\text{C}$	100% aprox. con condensación sobre las probetas
		16 h incluido enfriamiento (cámara climática cerrada)		18 °C a 28 °C	100% aprox. ( $\approx$ saturado)

NOTA Los parámetros de operación y sus fluctuaciones se pueden programar independientemente o en un formato "parámetro  $\pm$  fluctuaciones". El valor establecido es la condición deseada, programado por el usuario para el sensor empleado. Las fluctuaciones de operación son desviaciones respecto al valor programado indicadas en la lectura del sensor calibrado durante la operación en condiciones de equilibrio y no suponen mediciones de incertidumbre. En el punto de control, las fluctuaciones de operación en el equilibrio pueden no exceder lo programado. Cuando una norma exige un valor dado de operación, el usuario programa el número exacto. Las fluctuaciones de operación especificadas para el valor dado, no implican que el usuario esté autorizado para programar un parámetro más alto o más bajo que el punto exacto especificado.

a)



Leyenda

- 1 válvula de control de la presión
- 2 dispositivo de medida de la temperatura
- 3 cubeta en el fondo llena de agua

Ejemplo de cámara climática

b)

## Anexo 5

Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos. Universidad de Matanzas  
"Camilo Cienfuegos". Km 3 ½ Autopista a Varadero. Matanzas.



### FICHA TÉCNICA DISTIN 314

#### Grasa Semisólida Conservante y Lubricante.

Es una grasa especialmente preparada para la protección y lubricación de cables, bornes y válvulas. Proporciona una gran impermeabilidad al agua en superficies oxidadas, no oxidadas o con recubrimiento, con resistencia a la corrosión en condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad. Resiste el contacto con agua de mar, no se emulsiona, ni chorrea a temperatura ambiente. No afecta los recubrimientos de pintura y le proporciona una protección adicional por formación de una capa impermeable a los agentes agresivos.

Es un producto derivado de la oleoquímica, biodegradable, que no contamina al medio por emulsión en contacto con los líquidos. No se inflama en contacto con la llama de soplete oxiacetilénico.

#### Método de Aplicación:

- >> **Proyección:** Pudiera aplicarse de prepararse líquida, se oferta una grasa líquida con estas características.
- >> **Inmersión:** Se introducen las piezas que se quieren proteger en la grasa fundida que posee una alta estabilidad coloidal, lo que permite fundirla en repetidas ocasiones, sin separar el aceite.
- >> **Brocha o frotado:** Se emplea este método principalmente para la protección y lubricación de cables de acero, aunque puede ser aplicada a otros componentes o piezas que lo requieran.
- >> **Rendimiento:** Para la aplicación de la grasa en forma líquida cuando está fundida, el rendimiento es de 8 a 10 m<sup>2</sup> /Kg a unos 100 ° C. En la preparación de superficies por frotado o brocha depende del espesor.

#### Protección Anticorrosiva:

Garantiza la protección temporal de las superficies metálicas por años en las condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad, propias de las zonas marítimas. Resiste la acción del agua de mar, no se emulsiona por contacto y no contamina las aguas por este efecto. Pasó el ensayo de Resistencia a la humedad y Temperatura con condensación constante durante 1600 horas, sobre probetas de acero de bajo contenido de carbono por la norma UNE – EN – ISO 6 270:06 y DIN 50017: 82, y el ensayo de Resistencia a la niebla salina durante 500 horas por la norma ISO 9 227: 07, sin afectaciones. Estos ensayos se realizaron por el Laboratorio LABET.

### **Condiciones de Conservación:**

- >> **Intemperie:** Resiste la acción de la radiación solar que chorrea a muchas grasas, resiste años en la conservación de superficies en dependencia de la agresividad del medio.
- >> **Bajo techo:** Garantiza la protección temporal por más de 5 años y resiste el ataque de microorganismos causantes de la corrosión microbiológica.
- >> **Almacén cerrado:** Garantiza de 5 a 10 años con las mismas características antes apuntadas.

### **Aplicaciones derivadas de sus propiedades:**

Al ser aplicada penetra a fondo formando una capa protectora, lubricante y estable que no se endurece y proporciona una alta impermeabilidad al agua. Está especialmente formulada para la protección y lubricación de cables, vástagos de válvulas, etc., aunque puede ser utilizada además en la conservación de equipos, partes y piezas, con superficies oxidadas, ya que penetra el óxido y protege, no afectando además a las pinturas.

### **Transportación y almacenamiento:**

El producto puede ser suministrado en tanques de 220 litros o cubetas plásticas de 17 Kg y otras capacidades. En estas condiciones se garantiza varios años sin afectación del producto.

### **Aclaración al Cliente:**

Se agradece nos solicite cualquier información adicional para éstas u otras aplicaciones.

Dirección: CEAT Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” Km 3.5 Autopista a Varadero, Matanzas, Cuba. Teléfono: 261013 Ext. 326. E.Mail: [carlos.echeverria@umcc.cu](mailto:carlos.echeverria@umcc.cu)

## Anexo 6

### Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos.

Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Km 3 ½

Autopista a Varadero. Matanzas.



### FICHA TÉCNICA DISTIN 314 L

#### Grasa Líquida Tipo Solvente.

Es una grasa especialmente preparada para la protección por proyección de componentes huecos, áreas cerradas, intersticios y otras partes de las estructuras metálicas de los equipos del transporte, contenedores, puentes, estructuras en edificaciones, etc. Por su composición líquida penetra a fondo, protege a las superficies oxidadas de tuberías, laminados y perfiles almacenados a la intemperie. Proporciona impermeabilidad al agua en superficies oxidadas, con resistencia a la corrosión en condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad. La capa que se forma por evaporación del solvente, resiste el contacto con agua, no se emulsiona, ni chorrea a temperatura ambiente. No afecta los recubrimientos de pintura. No se inflama, en contacto con la llama de soplete oxiacetilénico, una vez formada la capa libre del solvente.

#### Método de Protección:

>> **Proyección:** Es el método de aplicación que se recomienda.

>> **Inmersión:** Se introducen las piezas que se quieren proteger en la grasa líquida, pero no es el más recomendado.

>> **Brocha o frotado:** Se emplea este método cuando no existen condiciones para los anteriores.

>> **Rendimiento:** Se corresponde con el generalmente establecido para líquidos de 8 a 10 m<sup>2</sup> /Litro.

#### Protección Anticorrosiva:

El recubrimiento formado toma el espesor por proyección por capas, proporciona una protección temporal de las superficies metálicas por años en las condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad, propias de las zonas marítimas. Resiste la acción del agua, no se emulsiona por contacto. Se recomienda más de una capa por proyección. Existen experiencias de su aplicación en la conservación de componentes huecos y áreas cerradas. Pasó el ensayo de Resistencia a la humedad y Temperatura con condensación constante durante 1600 horas, sobre

probetas de acero de bajo contenido de carbono por la norma UNE – EN – ISO 6 270: 06 y DIN 50017: 82, y el ensayo de Resistencia a la niebla salina durante 500 horas por la norma ISO 9 227: 07, sin afectaciones. Estos ensayos se realizaron por el Laboratorio LABET.

### **Condiciones de Conservación:**

>> **Intemperie:** Resiste la acción de la radiación solar que chorrea a muchas grasas, resiste años en la conservación de superficies en dependencia de la agresividad del medio y el número de capas.

>> **Bajo techo:** Garantiza la protección temporal por más de 3 años y resiste el ataque de microorganismos causantes de la corrosión microbiológica.

>> **Almacén cerrado:** Garantiza más de 5 años con las mismas características que bajo techo.

### **Aplicaciones derivadas de sus propiedades:**

Por sus características está especialmente formulada para la conservación de materiales oxidados que permanecen almacenados a la intemperie y en la conservación estructural en componentes huecos, áreas cerradas y zonas inaccesibles de estructuras metálicas no pintadas, donde incluye parte inferior de contenedores, edificaciones, puentes, instalaciones industriales, ya que al ser aplicada penetra a fondo formando una capa protectora, lubricante y estable que no se endurece y proporciona una alta impermeabilidad al agua.

### **Transportación y Almacenamiento:**

El producto puede ser suministrado en tanques de 220 litros o plásticos de 20, 5 y 1 litro y otras capacidades en función de los requerimientos del cliente. En estas condiciones se garantiza varios años sin afectación del producto exceptuando la evaporación del solvente por deficiente hermeticidad.

### **Aclaración al cliente:**

Se agradece nos solicite cualquier información adicional para éstas u otras aplicaciones.

Dirección: CEAT Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” Km 3.5 Autopista a Varadero, Matanzas, Cuba. Teléfono: 261013 Ext. 326. E.Mail: [carlos.echeverria@umcc.cu](mailto:carlos.echeverria@umcc.cu).

## Anexo 7



**Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos.**  
Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Km 3 ½  
Autopista a Varadero. Matanzas.

### FICHA TÉCNICA DISTIN 403

#### Mástique Asfáltico Semisólido con goma

Mástique asfáltico de consistencia semisólida con goma, de alta flexibilidad, resistencia a la corrosión y adherencia, especialmente preparado para las uniones metal – metal, metal – mortero y metal – hormigón, donde resiste vibraciones sin partir, evitando la penetración de los contaminantes. Sella orificios y protege superficies sometidas a la acción del agua y la humedad. Ofrece una capa protectora a la superficie, resistente a altas temperaturas, deformaciones por golpes de agua, piedras y a la acción agresiva de la atmósfera. Su espesor estará en dependencia de la aplicación específica que se requiera, tanto para sellar cavidades, formar recubrimientos, etc. Especialmente preparado para sellar orificios.

#### Modo de Aplicación:

- **Proyección:** Pudiera aplicarse cuando se prepara de forma líquida, en este caso se recomienda el producto DISTIN 403 L.
- **Esparcimiento:** Se recomienda el esparcimiento con espátula del producto en frío o en caliente donde mejora la aplicación.

Para aplicar este producto es necesario desengrasar, eliminar el polvo y los óxidos desprendibles. Puede ser aplicado directamente sobre superficies fosfatadas y secas con DISTIN 504.

**Rendimiento:** Como es un producto semisólido que puede aplicarse con diferentes espesores de recubrimiento, ello determina el rendimiento del productos.

**Protección Anticorrosiva:** Garantiza la protección anticorrosiva durante años, por ser un producto flexible, asimila las vibraciones, no parte. Tiene alta resistencia a la humedad de la atmósfera en las condiciones climáticas de Cuba, es resistente al biodeterioro.

#### Condiciones de Protección:

- **Intemperie:** Por ser un producto elaborado con goma se ve afectado por la radiación ultravioleta, aunque se tienen resultados de protección sin afectaciones sobre acero por

períodos de hasta 5 años.

- **Bajo techo:** Garantiza la protección por un mayor período.

**Almacenamiento:** El producto debe ser almacenado en cajas de cartón, para facilitar su aplicación. No cambia sus propiedades con el tiempo.

**Medidas de protección:** Por ser un producto semisólido elaborado con asfalto oxidado y goma entre otras materias primas, estos productos le confieren combustibilidad, por tal motivo cuando se trabaje con oxicorte o sopletes, debe ser retirado con espátula y colocado nuevamente en caliente.

**Comuníquese:** Teléfono: 261013 Ext. 326. Fax: 253101 E.Mail: [merca.ceat@umcc.cu](mailto:merca.ceat@umcc.cu), o [comercial.ceat@umcc.cu](mailto:comercial.ceat@umcc.cu)

## Anexo 8



**Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos.**

Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Km 3 ½  
Autopista a Varadero. Matanzas.

### FICHA TÉCNICA DISTIN 403 L

#### Mástique Asfáltico Líquido

Mástique asfáltico de consistencia líquida para la protección anticorrosiva y conservación de superficies metálicas. Ofrece una capa protectora de la superficie por evaporación del solvente, resistente a altas temperaturas, deformaciones por golpes de agua, piedras, etc la cual penetra en todas las cavidades e intersticios que puedan existir y protege contra la acción agresiva de la atmósfera. Especialmente preparado como recubrimiento antigavilla para la protección de la parte inferior y exterior del piso de los automóviles, contenedores, equipos ferroviarios y en estructuras o pisos en contacto con agua y humedad, impermeabilizando y protegiendo contra la acción microbiana.

#### Modo de Aplicación:

- **Proyección:** Es la forma principal de aplicación, donde el espesor de la capa deseada se logra por aplicaciones sucesivas, una vez logrado el secado por capas.

Para aplicar este producto es necesario desengrasar, eliminar el polvo y los óxidos desprendibles. El producto penetra al óxido no desprendible y protege y además puede ser aplicado sobre superficies previamente tratadas con la grasa líquida DISTIN 314 L, con la que se integra como un recubrimiento por poseer un constituyente común a ambos.

**Rendimiento:** Como es un producto líquido el rendimiento por capa se corresponde con el generalmente establecido de 10 m<sup>2</sup>/litro.

**Protección Anticorrosiva:** Garantiza la protección anticorrosiva durante años, por ser un producto flexible, asimila las vibraciones, no parte. Tiene alta resistencia a la humedad de la atmósfera en las condiciones climáticas de Cuba.

#### Condiciones de Conservación:

- **Intemperie:** Por ser un producto elaborado con goma se ve afectado por la radiación ultravioleta, aunque se tienen resultados de protección por más de un año en superficies

de pisos de automóviles sin afectaciones.

- **Bajo techo:** Garantiza la protección por muchos años, cuando no está sometido a proyecciones de partículas, agua, etc.

**Almacenamiento:** El producto se almacena en recipientes plásticos de 5 y 20 litros. Antes de ser usado debe agitarse para que las partículas de goma que contiene se mantengan en suspensión antes de utilizarse.

**Medidas de protección:** Por ser un producto semisólido elaborado con asfalto oxidado y goma entre otras materias primas, estos productos le confieren combustibilidad, por tal motivo cuando se trabaje con oxicorte o sopletes, debe ser retirado con antelación.

**Comuníquese:** Teléfono: 261013 Ext. 326. Fax: 253101 E.Mail: [merca.ceat@umcc.cu](mailto:merca.ceat@umcc.cu), o [comercial.ceat@umcc.cu](mailto:comercial.ceat@umcc.cu)

## Anexo 9



**Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos.**  
Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Km 3 ½  
Autopista a Varadero. Matanzas.

### FICHA TÉCNICA DISTIN 504

#### **Disolución de Fosfatado Decapante Acción Rápida**

Disolución de fosfatado decapante para la preparación rápida de superficies metálicas. Proporciona una limpieza a fondo de la superficie, penetra en los intersticios, convierte el óxido, sella y forma una capa protectora y resistente a deformaciones y a la acción agresiva de la atmósfera. Produce un efecto inmediato al tratar superficies oxidadas de chapas, accesorios, piezas, equipos del transporte, etc., previo a la aplicación de recubrimientos. Puede ser aplicada sobre recubrimientos de pintura que muestren partes oxidadas, convierte el óxido y elimina la mancha en la pintura. Forma una capa protectora con sales insolubles, requiere del enjuague y secado posterior si va a aplicar algún recubrimiento antes de las 72 horas. El recubrimiento penetra en la capa de fosfato logrando un excelente anclaje.

#### **Modo de Aplicación:**

- **Proyección:** Pudiera aplicarse en áreas de difícil acceso, pero no resulta el método más adecuado por su carácter ácido, que requiere de protección.
- **Inmersión:** Se introduce la pieza desde 5 a 15 minutos en dependencia del grado de oxidación de la superficie a tratar, lográndose un alto rendimiento del baño, no requiere enjuague ni neutralización posterior si se espera al menos 72 horas para completamiento de la reacción.
- **Frotado:** Se emplea este método cuando no pueden ser empleado el método de inmersión, sobre todo en estructuras montadas, en el tratamiento de superficies oxidadas. Se recomienda para el aluminio y el zinc frotados ligeros.

Para aplicar este producto es necesario desengrasar, eliminar el polvo, los óxidos desprendibles y descontaminar con agua.

**Rendimiento:** Se corresponde con el generalmente establecido para los productos líquidos de 10 m<sup>2</sup> /l en la preparación de superficies por frotado con más de una aplicación. En baños donde se introducen las piezas, permite tratar hasta 50 m<sup>2</sup>/litro.

**Protección Anticorrosiva:**

Garantiza la protección temporal de las superficies metálicas días, semanas e incluso meses, en las condiciones climáticas de Cuba en zonas de agresividad de alta a extrema, en dependencia de las condiciones de almacenamiento.

Pasó el ensayo climático de Humedad – Temperatura, acreditado por el Laboratorio LABET, por las Normas UNE – EN – ISO 6270: 06 y DIN 50017:82, sobre probetas de acero de bajo contenido de carbono, durante 1600 horas, sin afectaciones.

**Condiciones de Conservación:**

- **Intemperie:** De no encontrarse contaminada la superficie con aerosol marino, puede proteger la estructura por un período de hasta una semana.
- **Bajo techo:** Garantiza la protección temporal por varias semanas.
- **Almacén cerrado:** Puede mantener las piezas protegidas hasta un mes o más, lo cual no se prefiere, dada la posibilidad de contaminación de la superficie.
- **Interior de tanques:** Puede utilizarse para preparar la superficie no pintada y protege la superficie durante meses si se logra un buen secado y sellaje. Procedimiento indicado especialmente para instalación de tanques de combustible.

**Almacenamiento:** El producto debe ser almacenado en tanques plásticos de diferentes capacidades. En estas condiciones se garantiza varios años sin afectación del producto.

**Medidas de protección:** Por constituir una solución ácida deben tomarse todas las medidas que evite contactos con ojos, cortaduras. El producto no daña la piel y no contamina el ambiente del área de trabajo.

**Comuníquese:** Teléfono: 261013 Ext. 326. Fax: 253101 E.Mail: [merca.ceat@umcc.cu](mailto:merca.ceat@umcc.cu), o [comercial.ceat@umcc.cu](mailto:comercial.ceat@umcc.cu).

## Anexo 10

### Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos.

Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Km 3 ½  
Autopista a Varadero. Matanzas.



### FICHA TECNICA DISTIN 603 L.

#### Cera Abrillantadora e Impermeabilizante Líquida.

Es una cera líquida especialmente preparada para la protección de superficies metálicas pintadas, en las cuales penetra a fondo, impermeabiliza los poros, impidiendo la penetración del agua y el oxígeno, que junto con los contaminantes atmosféricos son los causante del deterioro de las pinturas. Por su composición líquida penetra a fondo en orificios, sella e impide la penetración de contaminantes. Proporciona a los recubrimientos de pintura una resistencia a la corrosión adicional en condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad. Además de mayor resistencia a la radiación ultravioleta, causante del deterioro de los recubrimiento de pintura. No afecta los recubrimientos de pintura y le proporciona una protección por formación de una capa impermeable a los agentes agresivos. Puede ser aplicada sobre madera, hormigón, mortero, no teniendo reacciones adversas.

#### :: Método de aplicación ::

- >> **Proyección:** Pudiera aplicarse pero no se recomienda, ya que se pierde mucho producto.
- >> **Frotado:** Es el método más recomendado, para producir una fina capa sobre la superficie de pintura.
- >> **Rendimiento:** Se corresponde con el generalmente establecido para los productos líquidos de 8 a 10 m<sup>2</sup> /Litro.

#### :: Protección anticorrosiva ::

El recubrimiento proporciona una protección adicional y temporal de las superficies metálicas pintadas e incrementa su durabilidad en las condiciones climáticas de alta, muy alta y extrema agresividad, propias de las zonas marítimas. Resiste la acción del agua de mar por salpicaduras.

Como recubrimiento temporal debe ser aplicado con la frecuencia que requiera el tipo de técnica. En automóviles cuando se observe que el agua moja la pintura debe ser aplicado.

:: Condiciones de conservación ::

>> **Intemperie:** Resiste la acción de la radiación solar, no se chorrea hasta uno 100 ° C, resiste años en la conservación de superficies en dependencia de la agresividad del medio y del espesor de la capa.

:: Aplicaciones derivadas de sus propiedades ::

Por sus características está especialmente formulada para la protección adicional de recubrimientos de pinturas, ya que las impermeabiliza contra la acción del agua, el oxígeno y los contaminantes que la penetran, le proporciona protección adicional contra la radiación ultravioleta y brillo.

:: Transportación y almacenamiento ::

El producto se suministra en frascos de 1 litro de capacidad.

:: Aclaración al usuario ::

Se agradece nos solicite cualquier información adicional para éstas u otras aplicaciones.

Dirección: CEAT Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” Km 3.5 Autopista a Varadero, Matanzas, Cuba. Teléfono: 261013 Ext. 326. E.Mail: [carlos.echeverria@umcc.cu](mailto:carlos.echeverria@umcc.cu)