

# PROPUESTA DE UN SISTEMA ANTICORROSIVO Y DE CONSERVACION PARA EL ÁREA DE COMBUSTIBLES DE LA CENTRAL ELÉCTRICA MTU DIESEL DE VARADERO.

Ms C. Asael González Betancourt<sup>1</sup>, Ing. Greter Mirabal Cabrera<sup>2</sup>, Dr. C. Carlos Echeverría Lage<sup>1</sup>, Ms C. Yaimara Vázquez Molina<sup>1</sup>.

1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Km 3 ½ Carretera a Varadero, Cuba.

2. Empresa del Petróleo Super Tanquero de Matanzas, Zona Industrial, Matanzas, Cuba.

## Resumen.

El presente trabajo se realizó en el área de combustible de la Central Eléctrica Diesel MTU de Varadero, la cual está constituida por sistemas de tanques de combustibles, dos centrífugas, dos bombas, instalaciones de tuberías y componentes estructurales, los que en su gran mayoría son metálicos. A partir del diagnóstico realizado se detectaron problemas de diseño anticorrosivos, incorrecta preparación de las superficies metálicas, deficiencia en la aplicación de pinturas, falta de protección anticorrosiva y de conservación adicional, así como pérdidas económicas por corrosión. Considerando lo anterior se confeccionó un Sistema de Protección Anticorrosiva y de Conservación (SIPAYC) con los productos nacionales (DISTIN), certificados por el Laboratorio LABET. Toda vez que dicha Central Eléctrica esta ubicada en una zona de alta a muy alta agresividad corrosiva de la atmósfera. Proponiéndose soluciones a los problemas de diseño anticorrosivo existentes, además de presentar los esquemas de pinturas acorde con las normas internacionales y una protección anticorrosiva adicional, resultados que pueden ser extendidos a otras instalaciones de la generación distribuida con similares estructuras y zonas de agresividad de la atmósfera.

*Palabras claves:* Corrosión, Conservación, Diseño anticorrosivo, Central Eléctrica.

---

## **Introducción.**

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

Afecta a lo anterior para toda Cuba, la agresividad corrosiva imperante que se clasifica de media, alta, muy alta y extrema con predominio de las últimas clasificaciones. Ello junto con los problemas de diseños anticorrosivos y la poca preparación del personal provoca el deterioro prematuro de los materiales fundamentalmente metálicos y sus sistemas de protección.

En la generación distribuida, la totalidad de las instalaciones y equipos son metálicos, sometidos en lo fundamental a la acción de la atmósfera, además de otros medios agresivos, por lo que se justifica la aplicación de sistemas de protección anticorrosiva y conservación para contrarrestar estos daños que pueden ser disminuido pero no eliminados.

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.

### **La corrosión atmosférica en Cuba. Factores que influyen.**

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. Se plantea que alrededor de un 80 % 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. (Tomashov, 1979).

Se plantea que el conocimiento más exacto posible, acerca de los factores que influyen en la agresividad corrosiva de la atmósfera en los diferentes ambientes, 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. (Tomashov, 1979)

Las preocupaciones que causa este tema, han llevado a científicos e investigadores a realizar numerosos trabajos y estudios que, no obstante, aún son insuficientes para aclarar varias cuestiones sobre los mecanismos, las variables y la cinética de la corrosión atmosférica. Uno de los mayores problemas a que se enfrentan los investigadores es la simulación precisa de las condiciones meteorológicas y atmosféricas que se dan en la práctica. (Tomashov, 1979)

Para cada ambiente, es necesario tener en cuenta la influencia sobre los materiales, de las condiciones atmosféricas del macro clima (oxígeno; humedad; contaminantes: SO<sub>2</sub>, NaCl, NO<sub>x</sub>, etc.; la radiación solar global) y del microclima (la formación de rocío, o en general, el tiempo de humectación de la superficie; el calentamiento de la superficie por la radiación solar global, especialmente la radiación infrarroja; la acumulación de iones de naturaleza ácida (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl) en la película acuosa depositada sobre el objeto. (Tomashov, 1979)

“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 (Autores, 2005).

De resultados obtenidos en estudios realizados y coincidiendo con (Autores, 2005), (Espada, 2005) se considera que la corrosividad de una atmósfera está en función de:

- Humedad relativa del aire.
- Número de días en que haya precipitaciones acuosas.
- Posibilidad de formar una capa de electrolito sobre el metal.
- Condensación de la humedad por cambios de temperatura (formación de rocío).
- Pulverizaciones acuosas del agua de mar o de río por la acción del aire.

### **Agentes que influyen en la velocidad de corrosión.**

De acuerdo con (Morcillo, 2002) los principales factores que operan en la corrosión atmosférica son:

#### **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 aparición y aceleración de la velocidad de corrosión. Pero el efecto combinado de varios de ellos, es lo que causa las mayores pérdidas.

## **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 (de suelos, rocas, polvo volcánico, de origen orgánico, industrial), así mismo manipulaciones del ambiente por distintas vías. Estos factores pueden directamente afectar la corrosión del metal expuesto en condiciones exteriores o interiores. El proceso de corrosión atmosférica puede ser más complicado cuando macro- y/o microorganismos están presentes (Autores, 2005).

- **Temperatura (T):** El efecto de la temperatura en la corrosión atmosférica no resulta determinante en las condiciones del ambiente de Cuba, ya que las variaciones no son de consideración. Su efecto fundamental se manifiesta en la temperatura de la superficie metálica, la que puede alcanzar niveles considerables (superiores a 70<sup>0</sup>C), condiciones en las cuales se elimina toda humedad. De acuerdo con lo anterior, al aumentar la temperatura de la superficie metálica, disminuye la velocidad de corrosión.

Por lo antes expuesto, (Echeverría, 2002) y otros autores observan que se obtiene en muchos casos que la corrosión atmosférica bajo techo simple es mayor que a la intemperie.

- **Humedad Relativa (HR):** las estructuras metálicas expuestas a la atmósfera no se encuentran bañadas por grandes cantidades de electrolitos, la mayor parte de la corrosión atmosférica tiene lugar en celdas de corrosión altamente localizadas.

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, se forman por condensación capilar, higroscopicidad, adsorción, etc, lo cual tiene lugar para humedades relativas inferiores al 100 % y superiores al 50 %, según refieren investigadores del tema, entre ellos (Tomashov, 1979), (Feliú, 1971), etc.

El mecanismo de la corrosión atmosférica húmeda es el que se presenta en la mayoría de las horas del día y períodos del año, es por ello que constituye el mecanismo fundamental.

De acuerdo con lo antes tratado, se comprende que la presencia de humedad sobre la superficie metálica, 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.

- **Tiempo de humectación (TDH):** El parámetro TDH 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. Durante éste período 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.

Habitualmente el TDH es calculado en horas, de acuerdo con la norma internacional de ISO 9233: 92, e incluye el complejo diario de  $T - HR$ , utilizando el valor de  $HR = 80\%$  como valor crítico ( $T \geq 0^\circ C$ ), cuando inicia la condensación de agua sobre la superficie del metal. Al llegar la  $HR$  a  $90\%$  y  $T < 25^\circ C$  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 más 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 más dificultados en el caso de una película de condensación más gruesa (Espada, 2005).

Por otro lado es importante analizar en qué intervalos de temperatura se da el TDH, ya que los niveles de temperatura determinan la cinética del proceso de corrosión, es decir una diferencia de 10 grado en la temperatura del ambiente, puede conllevar a un orden de aumento de la velocidad de corrosión (Espada, 2005).

➤ **Efecto de las lluvias:** En trabajos desarrollados como parte del proyecto MYCAT, plantean que las precipitaciones 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. (Corvo, 1995)

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. Por lo general, las gotas de lluvia más pequeñas tienen una mayor cantidad de agentes corrosivos. (Corvo, 1995).

Otro efecto provocado por las precipitaciones es la disolución de los productos de corrosión formados sobre la superficie metálica. Se cita como ejemplo el caso de los carbonatos formados en Zinc, que al disolverse dejan expuesta la superficie metálica, a un nuevo ataque corrosivo. (Corvo, 1995).

➤ **Incidencia de los vientos:** el encargado de transportar los contaminantes es el viento, como han referido en Cuba (Corvo, 1995), y (Echeverría, 2002).

Destaca (Gómez, 1999) que la velocidad del viento puede promover un doble efecto a su vez, 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.

La primera referencia consultada sobre la influencia de los vientos en la corrosión atmosférica del acero, refiere (Echeverría, 2002), que la velocidad de corrosión depende de la velocidad y dirección del viento, principalmente en atmósferas marinas.

En investigaciones realizadas en Cuba, (Betancourt, 1988), la obtención de bajos coeficientes de correlación entre las pérdidas por corrosión, las horas viento procedentes de las direcciones predominantes y la salinidad (concentración de cloruros y sulfatos), se atribuye a los métodos de captación empleados y las determinaciones analíticas, problema aún no resuelto en las investigaciones sobre corrosión atmosférica, de ahí la imposibilidad de establecer correlaciones matemáticas entre diferentes parámetros de contaminación y vientos en las más recientes investigaciones (Echeverría, 2002).

- **Impacto 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 preponderante en la corrosión del aerosol marino. (Maldonado, 1999), (Wei, 1991) y (Gómez, 1999).

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 Cuba, este factor es el responsable de agresividades altas, muy altas y extremas, aspecto destacado por. (Echeverría, 2000)

En el caso de Cuba, debido a su peculiaridad de isla estrecha y alargada, existe una gran influencia del aerosol marino. (Corvo, 1995), plantea que en nuestro país, 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, a saber:

1. **Temporada invernal o de seca** (octubre a marzo), con gran influencia de los vientos del norte-nordeste que producen rompientes en la costa, y por ende, grandes concentraciones de aerosol marino en el aire, suficientes para incrementar drásticamente la corrosividad.
2. **Temporada de lluvias o de verano** (abril a septiembre), donde los vientos provenientes del sur originan rompientes y cabrilla de poca envergadura (Echeverría, 2000).

En la literatura consultada (Maldonado, 1998), (Corvo, 1995), (Echeverría, 2002), (Feliú, 1971) 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, que el principal responsable de esta acción es el ión cloruro.

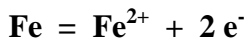
Sin embargo, reconociendo que el aerosol marino es sal de mar y que en ella están presentes además de los cloruros, los iones sulfatos y que se reconoce como señala (Gómez, 1999), que los diferentes estudiosos de la corrosión atmosférica están de acuerdo totalmente que el sulfato ferroso y demás contaminantes salinos juegan un papel importante en el mecanismo de la corrosión atmosférica del hierro y el acero, llama la atención la poca referencia a este contaminante cuando se estudia la influencia del aerosol marino.

- **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

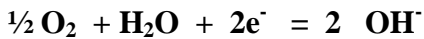
la velocidad de deposición de cloruros y la velocidad de corrosión como han demostrado en Cuba (Echeverría, 2002), (Corvo, 1995), y (Gómez, 1999).

Citando a Espada, (Gómez, 1999) plantea que la deposición de iones  $\text{Cl}^-$  tiene un efecto de compactación de la capa de óxidos, pero que dicho ión 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.

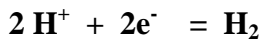
La corrosión atmosférica del hierro y el acero es un proceso de naturaleza electroquímica, bastante conocido, por lo que el hierro en presencia de oxígeno y humedad conduce a la formación de una capa de herrumbre. La reacción anódica parcial viene dada por la disolución del metal:



En cuanto a la reacción catódica, ocurre la reducción del oxígeno disuelto:



Juega un papel dominante, sin embargo, dependiendo de las características del electrolito en contacto con la superficie metálica, la reacción de descarga de hidrógeno:



La cual puede constituir la reacción catódica principal del proceso de corrosión atmosférica (Ej. Lluvia ácida).

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

1. El cloruro se deposita sobre la superficie metálica, formando con el acero cloruro de hierro  $\text{FeCl}_2$ .
2. El cloruro de hierro (II) en presencia del oxígeno del aire y la humedad interviene en la siguiente reacción forma óxido férrico que precipita sobre la superficie metálica y forma la herrumbre y se origina ácido clorhídrico.
3. 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.

Teniendo en cuenta la contaminación por cloruros, varias investigaciones han tratado de relacionar la corrosión de acero con la salinidad de atmósfera, y todas ellas indican que la corrosión se incrementa de forma casi proporcional a la salinidad en un amplio intervalo de niveles de contaminación marina.

- **El ión sulfato y la corrosión atmosférica:** (Tomashov, 1979), determina que del total de sales que contiene el agua de mar, el 7,68% en peso corresponde al ión sulfato.

Las emisiones de ión sulfato no resulta despreciable si se tiene en cuenta que el sulfato procede del aerosol marino, máxime cuando no se reporta en Cuba una contaminación apreciable por dióxido de azufre.

La corrosión atmosférica es más rápida cuando el contenido de dióxido de azufre en la atmósfera es más alto. (Gómez, 1999). Asimismo, se demostró que la herrumbre se forma más rápidamente durante las estaciones del año en las que el contenido de dióxido de azufre es más alto y que una pequeña cantidad produce un volumen relativamente grande de herrumbre.

Cuando se acumula sobre la superficie metálica suficiente producto de corrosión, principalmente sulfato ferroso y óxido, las condiciones son favorables para que exista un intercambio electroquímico en la celda  $Fe/FeSO_4/FeOOH$ .

En investigaciones más 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. En el trabajo de (Gómez, 1999), no se demuestra de igual forma la influencia directa.

En investigaciones en Ibero América, al respecto de la influencia del sulfato en la corrosión, existen muy pocas referencias, la mayoría de ellas tratan la influencia del dióxido de azufre, reportadas en la publicación que recoge las investigaciones del Programa MICAT (Maldonado, 1998).

### **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, queda demostrado que el mismo resulta decisivo en la clasificación de la agresividad corrosiva de la atmósfera, coincidiendo así la mayoría de los investigadores, sin dejar atrás otros factores de importancia como la humedad, los vientos, temperatura, etc. 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. (Echeverría, 2002), (Tomashov, 1979), (Echeverría, 2000), (ISO 12944 - 2: 1998).

(Tomashov, 1979), clasifica las atmósferas de acuerdo con el grado de contaminación y la naturaleza de los contaminantes, planteando que la atmósfera más corrosiva es la industrial altamente contaminada, y la menos corrosiva la atmósfera rural pura.

(Feliú, 1971), coincide con Tomashov en la forma de clasificar las atmósferas tomando en consideración el grado de contaminación y la naturaleza de los contaminantes en: industrial, marina, urbana, rurales y otras combinaciones de éstas.



(Echeverría, 2000), señala que estas clasificaciones no necesariamente son una descripción acertada de la agresividad de la atmósfera desde el punto de vista de la corrosión y que la agresividad de un lugar determinado está dada en primer lugar por las condiciones 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. También se establecen categorías de agresividad corrosiva para cada metal, de acuerdo con el tiempo de humectación y los niveles de contaminación ambiental por cloruros y sulfatos.

Partiendo de lo citado anteriormente, se concluyo que la agresividad corrosiva de la atmósfera en el Grupo Electrógeno Diesel de Varadero es extrema ya que se encuentra a menos de un kilómetro de la costa norte y en una zona no apantallada.

### **Reglas sobre problemas de diseño anticorrosivo, preparación superficial y corrosión.**

El sistema de normalización establecido en la Comunidad Europea, se basa en lo fundamental en las Normas ISO, y dentro de ella Alemania, país donde se ubica la Casa Matriz de la tecnología MTU. El sistema de normalización establecido en Cuba, también emplea las Normas ISO.

Cuando se suscribe una Norma Internacional, se contraen obligaciones bajo consideraciones técnicas de cumplir lo establecido en las mismas. En aquellos casos que se establezcan garantías, quedan obligados mediante documentos contractuales, a cumplir con las obligaciones técnicas, de lo contrario pueden ser demandados, aplicándose los procedimientos penales correspondientes.

Por lo antes apuntado, se muestran seguidamente algunos ejemplos de incumplimientos de las Normas ISO, tanto de diseño anticorrosivo, como de la preparación y aplicación de los recubrimientos de pinturas, que constituyen violaciones de las consideraciones técnicas que se establecen en la referida norma.

### **Diseño anticorrosivo.**

Plantea (Echeverría, 2003) que para conocer los diferentes problemas de diseño anticorrosivo que presentan las instalaciones, hay que consultar de forma obligada las Normas Internacionales, en particular las Normas (ISO 12944 - 1: 1998), (ISO 12944 - 3: 1998), (ISO 12944 - 5: 1998) y la (ISO 12944 - 8: 1998). Estas normas en su conjunto, establecen los criterios básicos de diseño, que deben cumplir como consideración técnica donde se dice que: “El sistema protector debe ser efectivo por el tiempo de vida de la estructura”. Es decir, cuando se presente un problema de diseño anticorrosivo, hay que garantizar mediante una protección adicional la durabilidad del sistema protector.

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 (por

ejemplo, superposiciones, esquinas, bordes). Las uniones deben ser realizadas preferiblemente mediante soldadura, en vez de atornilladas o ribeteadas, para conseguir la superficie más uniforme posible. Las soldaduras discontinuas y por puntos se deben usar solamente cuando los riesgos de corrosión sean insignificantes (ISO 12944 - 3: 1998).

Según (Echeverría, 2003) es posible encontrar en conjunto varios problemas de diseño anticorrosivo como son:

- **Accesibilidad:** Los componentes de acero deben diseñarse para que sean accesibles a la hora de aplicar, inspeccionar y mantener el sistema de pintura protector. Es muy importante cumplir con los criterios de lograr separaciones entre componentes superiores a 50mm y profundidades menores de 100mm, para garantizar todas las operaciones de preparación de superficie, aplicación de recubrimientos y mantenimiento.
- **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, incluyendo cualquier abrasivo utilizado durante la preparación de la superficie. La corrosión de este tipo debe normalmente, evitarse mediante el sellado. En los ambientes más corrosivos, el espacio debe ser rellenado con soldadura de acero que sobresalga alrededor de todas las secciones, y en las superficies en contacto sellarse con soldaduras continuas, para prevenir el atrapamiento de abrasivos y la entrada de humedad.
- **Prevención de la corrosión galvánica:** Cuando exista continuidad eléctrica entre dos metales de diferente potencial electroquímico en condiciones de exposición continua o periódica a la humedad, tendrá lugar la corrosión del metal menos noble de los dos. La velocidad de corrosión depende, entre otros factores, de la diferencia de potencial entre los dos metales conectados, sus áreas relativas, la naturaleza y período de acción del electrolito.
- **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, por ejemplo entre un alma y una pestaña, es esencial que la intersección entre el refuerzo y los componentes colindantes esté soldada 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.
- **Manipulación, transporte y montaje:** Durante la etapa de diseño, debe considerarse la manipulación, el transporte y el montaje de la estructura. Cuando sea necesario, se prestará atención al sistema de elevación y a los puntos de anclaje para la elevación además debe considerarse la necesidad de prever mordazas para sostener los componentes durante su manipulación y transporte, así como las precauciones necesarias para prevenir daños en el sistema de pintura protector durante el transporte.
- **Precauciones para prevenir la retención de humedad, depósitos y agua:** Deben evitarse configuraciones superficiales en las que el agua pueda quedar retenida, y de este modo, en presencia de materias extrañas, incrementar el potencial de los agentes corrosivos.
- **Bordes:** Los bordes redondeados son deseables, para posibilitar la aplicación de la capa protectora de modo uniforme y para lograr un espesor de película adecuado sobre bordes

agudos, las capas protectoras en los bordes agudos son además más susceptibles al deterioro.

- **Imperfecciones en la superficie de las soldaduras:** Las soldaduras deben estar libres de imperfecciones (por ejemplo: aspereza, fracturas, orificios, cráteres, proyecciones), que son difíciles de cubrir eficientemente con un sistema de pintura protector.
- **Conexiones antideslizantes con pernos de alta resistencia:** Las superficies de fricción en conexiones antideslizantes deben prepararse por chorreado, previo al montaje, hasta un grado de preparación mínimo de Sa 2 ½, tal y como se define en la norma, con una rugosidad acordada y en la superficie de fricción puede aplicarse un material protector con un coeficiente de rozamiento apropiado.
- **Conexiones precargadas:** Se debe prestar una atención especial a la especificación de películas de pinturas para conexiones con pernos precargados. (Pernos, tuercas y arandelas), 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:** Donde las áreas cerradas (interior accesible) y los componentes huecos (interior inaccesible) constituyen una sección especialmente bien adaptada a la protección frente a la corrosión, siempre que se cumplan los requisitos dados a continuación. Las áreas cerradas y los componentes huecos que estén expuestos a la humedad superficial, deben estar provistos de aberturas de drenaje y estar protegidos de un modo efectivo contra la corrosión.

### **Medios de protección anticorrosiva.**

Todos en la sociedad moderna son afectados de alguna manera por el fenómeno de 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 termodinámicamente favorecido.

El ejecutivo de una corporación, el marino, el ingeniero químico o de materiales; el gerente de una refinería de petróleo; el superintendente de una fábrica de papel; o el grupo de mantenimiento de una industria o de un parque de diversiones, todos son afectados por la corrosión e intentan de alguna manera prevenir que se revierta el material bajo su control a su inutilizable estado original, pero el ser humano sólo puede actuar mitigándolo, 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, 2005).

Las soluciones de mitigación de la corrosión dependerán de lo que haya sido determinado en las fases iniciales del estudio, las cuales pobremente diseñadas no tendrán un cumplimiento como es requerido en largos períodos y es por ello que se cae en bajas expectativas.

Estas soluciones están en dependencia del material a proteger, la calidad del recubrimiento, la continuidad eléctrica, la localización de la estructura y las mismas pueden involucrar

frecuentemente diferentes métodos de protección, que en su conjunto forman un sistema que generalmente incluyen algunos o todos de los siguientes:

- Protección catódica (corriente impresa o ánodo de sacrificio).
- Continuidad eléctrica.
- Aislamiento eléctrico.
- Sistemas de recubrimientos.

### **Recubrimientos Anticorrosivos.**

Los recubrimientos anticorrosivos son los principales componentes de los sistemas de protección anticorrosiva empleados actualmente en el mundo, teniendo como principio esencial de acción aislar o separar al metal del medio corrosivo, según (Espada, 2005), y (Shixer, 2005), y (Autores, 2005).

Señala (Espada, 2005), que es necesario estar familiarizado con al menos los principales tipos de recubrimientos, y a su vez entender cómo trabajan, ya sea individualmente o como parte de un sistema. Se deben conocer las características de aplicación y durabilidad para cada tipo de recubrimiento; pues solamente este conocimiento permitirá escoger el sistema correcto para determinada situación.

Refiere (Espada, 2005), que los recubrimientos pueden ser de distinta naturaleza: orgánicos, inorgánicos, metálicos, de conversión, entre otros.

- **Recubrimientos orgánicos:** Estos son los más variados y difundidos, se caracterizan en general por su buena resistencia ante la acción de los electrolitos salvo los agentes oxidantes y fuertes y los ácidos y álcalis muy concentrados, prácticamente todos se destruyen por la acción prolongada del calor, por lo que no se utilizan a temperaturas elevadas. Estos recubrimientos se usan donde los metales fallan con mayor frecuencia y entre los más importantes encontramos: los asfálticos y bituminosos, las grasas, los aceites y otros compuestos de conservación, los plásticos y resinas, las gomas y las pinturas.
- **Recubrimientos inorgánicos:** Estos se caracterizan por su elevada resistencia a la acción de los agentes químicos y por una extraordinaria resistencia al calor. Sus componentes principales son los óxidos metálicos pero especialmente la sílice; por esta razón son utilizados cuando se requiere operar con reactivos altamente corrosivos. Como ejemplo de ellos se pueden citar los esmaltes vítreos, porcelanas y otras cerámicas como lozas antiácido, cementos comunes y especiales, masillas inorgánicas, ladrillos refractarios y de grafito.
- **Recubrimientos metálicos:** Estos recubrimientos pueden dividirse en activos y nobles. Los primeros son aquellos que poseen un potencial estacionario más negativo que el del metal base (a proteger) en el medio corrosivo, mientras que los nobles son los que presentan una condición contraria. Desde el punto de vista anticorrosivo estos recubrimientos se aplican según el medio al que se expondrán. Como ejemplo de ellos podemos citar el cincado, plomado, aluminio, cobreados, niquelado, cromado, etc.

Es válido destacar que a pesar de existir una amplia diversidad de recubrimientos anticorrosivos; para el caso específico de instalaciones sometidas a un ambiente marino, cambios de temperaturas, alta humedad relativa, influencia de vientos, entre otros factores; el método más utilizado es la aplicación de las pinturas, según (Shixer, 2005), y (Echeverría, 2003), el mismo protege con mayor efectividad de los cambios ambientales a más superficies y sustratos que cualquier otro sistema de prevención contra la corrosión.

Se conoce que por cada 100 m<sup>2</sup> de superficie metálica expuesta a la corrosión, unos 85-90 m<sup>2</sup> están protegidos por recubrimientos de pinturas. Lo que deja claro que de todos los recubrimientos los más aplicados en la protección anticorrosiva son las pinturas, aunque como sistema de protección anticorrosiva, se complementan con otros recubrimientos.

Teniendo en cuenta todo lo antes expuesto, se puede decir que la protección anticorrosiva de una instalación o equipo, no se puede ver como la aplicación de un método de protección anticorrosivo aislado, según refieren muy pocos investigadores del tema (Echeverría, 2003), (Scott, 2000), sino como un sistema integrado. Es por ello que es de interés en la presente investigación, hacer referencia a los métodos de protección anticorrosiva, los cuales, como un todo integrado, constituirán el sistema de protección anticorrosiva a aplicar en la instalación objeto de estudio.

Este sistema, para mitigar la corrosión, está basado en la aplicación de los recubrimientos orgánicos, específicamente las pinturas, las grasas de conservación y los mástiques asfálticos y los recubrimientos inorgánicos de protección temporal, la disolución de fosfatado.

### **Diagnostico de los problemas de diseño anticorrosivos y de corrosión.**

Para la realización del diagnóstico tuvimos en cuenta los siguientes pasos:

#### **➤ Análisis visual.**

Para realizar un correcto análisis de los problemas de corrosión, lo primero que hay que efectuar es un adecuado diagnóstico de él o de los equipos. Para ello hay que realizar un análisis visual detallado para poder observar todos los problemas que existan.

Esta observación se realiza de derecha a Izquierda, de adelante hacia de detrás y de abajo hacia arriba.

#### **➤ Fotografía digital.**

Después de realizar la observación detallada y con el procedimiento anteriormente descrito se procede a la toma de las muestras fotográficas de todos los problemas existentes en los equipos e instalaciones para posteriormente analizarlas en trabajo de mesa.

#### **➤ Uso de las Normas de diseño referidas anteriormente.**

Para proceder al 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 ISO. Estas normas 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.

### **Protección anticorrosiva y de conservación para el área de combustibles.**

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.

### **Grasas de conservación.**

Las grasa de conservación (DISTIN 314, 314S, 314 LA) se utilizan para la conservación y lubricación de los vástagos de las válvulas, en los bornes de las baterías de los motores de combustión interna y de los contactos eléctricos, en la conservación temporal de tuercas, pernos y arandelas durante las operaciones de mantenimiento frecuente.

En la parte inferior de los contenedores, donde no es posible preparar 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. Estos compuestos se pueden aplicar por Proyección, Inmersión o por Brocha o frotado. El rendimiento esta dado por su consistencia.

### **El Mástique Asfáltico Semisólido.**

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 oficios 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 cual se aplica de forma de 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.

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 inferior del piso del contenedor, 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.

Se aplica por proyección, Esparcimiento. 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.

### **La Cera Abrillantadora e Impermeabilizante.**

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.

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. Las formas de aplicación son: Proyección, Frotado siendo 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.

### **La Disolución de Fosfatado Decapante.**

La Disolución de Fosfatado Decapante DISTIN 504, está diseñada para la preparación rápida de superficies metálicas oxidadas y superficies metálicas no oxidadas, 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.

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, que responda a la agresividad del medio existente y el tiempo de duración deseado que debe ser como mínimo de 5 años.
- La aplicación de los materiales de matriz asfáltica modificados con polímeros DISTIN, los cuales se han evaluado y certificado como parte de la presente investigación.
- La aplicación de las grasas DISTIN, las cuales se han evaluado y certificado como parte de la presente investigación.

- La aplicación de la disolución de fosfato DISTIN, los cuales se han evaluado y certificado como parte de la presente investigación.
- La aplicación de la cera abrillantadora DISTIN, la cual 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.

## **Fundamentación del Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación para el Área de Combustible de la Central Eléctrica de Varadero.**

### **Identificación de los problemas de diseño anticorrosivo.**

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, aún más en las zonas cercanas a la costa norte, donde la influencia del aerosol resulta un factor determinante en el deterioro prematuro de los materiales, lo que conlleva sin dudas a considerables pérdidas económicas.

Es preciso por ende, tener conocimiento de las normativas internacionales para esta actividad, lo que ayudaría por tanto a la prevención de grandes problemas de corrosión, ya que en la generalidad de los casos, los problemas están presentes; por lo que sólo queda una opción: proponer soluciones que los atenúen.

A continuación se mencionan diferentes problemas de diseño anticorrosivos identificados en la propia instalación objeto de estudio, como resultado del diagnóstico realizado, así como la propuesta de soluciones, que implica en algunos casos, la aplicación de recubrimientos anticorrosivos diferentes a las pinturas, dentro del sistema propuesto.

### **Agresividad corrosiva de la atmosfera.**

En análisis realizado en trabajos similares en el polo turístico de Varadero (Echeverría, M. 2008), se llega a la conclusión que el nivel de corrosión en el Grupo Electrógeno Diesel de Varadero es extrema, por encontrarse a menos de un kilómetro de la costa y no tener apantallamiento. De acuerdo al mapa es una agresividad C6, sin considerar que en la propia instalación se generan gases corrosivos por la combustión.

Lo que permite seleccionar la preparación previa, el espesor y tipo de esquema de pintura para la durabilidad deseada, entre otros aspecto que son determinados por la norma (UNE-EN ISO 12 944:1-8, 1998).

La agresividad corrosiva de la atmosfera se debe considerar en todo momento, pero hay fechas del año en que son más significativas, en Cuba, existen dos períodos del año, que son los siguientes:

De octubre a marzo, coincide con el período de los frentes fríos y de seca, donde penetra con mayor cantidad y frecuencia el aerosol marino, causante de la contaminación de las



superficies metálica, donde al existir menos lluvia las superficies son menos lavadas (Echeverría, M. 2008). Este período no es recomendable.

De abril a septiembre, que coincide con el período de lluvia, donde hay menos influencia del aerosol marino y las superficies metálicas son más frecuentemente lavadas y descontaminadas por la lluvia (Echeverría, M. 2008). Este período es el más recomendado para las labores de protección anticorrosiva y conservación.

### **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.

Dado el hecho de que en el área de combustibles se encuentra en un ambiente marino, la preparación superficial del mismo es fundamental, ya que la durabilidad de los recubrimientos está dada por la calidad de la preparación superficial previa.

Para lograr una preparación superficial similar a la de la norma es necesario combinar el método manual mecanizado con métodos químicos, ya que debido a las regulaciones ambientales no es posible usar métodos a chorro que es el establecido por las normas.

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 preparación previa eficiente.

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 y el fosfatado.

El método manual mecanizado, está basado en el empleo de cepillos de alambre con taladros, lijas y discos abrasivos, los que tienen un mayor rendimiento que los manuales pero aun no logran una superficie bien preparada para recibir posteriormente el recubrimiento.

Por lo que después es necesario aplicar la Disolución de Fosfatado Decapante DISTIN 504 o la Disolución de Fosfatado No Decapante DISTIN 506 dependiendo del sustrato, con lo cual se logra un acabado similar al requerido por la norma.

El aplicar las disoluciones de fosfatado no solamente durante la preparación superficial previa, sino también en la conservación temporal ya que permite tratar superficies pintadas con manchas de oxido, eliminando 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 ceras impermeabilizantes.

En algunos casos como el de la pizarra de control del grupo electrógeno es recomendable la aplicación de la disolución de fosfatado, retocar con pintura y luego aplicar la Cera Abrillantadora e Impermeabilizante DISTIN 603 L.

### **Problemas de diseño:**

- **Accesibilidad.** Incumplimiento en cuanto a la accesibilidad a las herramientas que se emplean. Problemas y soluciones.

La separación entre partes y estructuras no puede ser menor de 50 mm de ancho y mayores de 100mm de profundidad. Siendo este aspecto el de mayor importancia. Tal y como se observa en la fig. 1.

Una solución en algunos casos, es convertir el área inaccesible en un área cerrada o componente hueco, con la aplicación de una protección anticorrosiva adicional interior, como la grasa líquida de conservación, DISTIN 314 L.



*Fig. 1. Problemas de accesibilidad*



- **Tratamiento de orificios. Problemas y soluciones.**

Estos orificios originan la condensación de humedad y la acumulación de depósitos y la aparición de corrosión localizada como se puede apreciar en la fig. 2 y 3. En orificios estrechos, hendiduras ciegas y uniones solapadas se debería evitar la corrosión mediante el sellado. En los ambientes más corrosivos, el espacio debería rellenarse con soldadura de acero que sobresalga alrededor de todas las secciones. Las superficies en contacto deberían sellarse con soldaduras continuas, para prevenir el atrapamiento de abrasivos y la entrada de humedad.

En la figura 2 se observa la existencia de orificios en las uniones acero –hormigón en la base de un tanque de combustible. En estos orificios penetra la humedad y los contaminantes y origina la corrosión en resquicios. La solución a este problema de diseño puede ser la aplicación de grasa líquida formadora de película blanda DISTIN 314 L que penetra la superficie y la corrosión y posteriormente sellar los orificios con mástique asfáltico semisólido DISTIN 403. Además este problema de diseño puede ser evitado, si durante la ejecución de la obra, además de pintar convenientemente las estructuras se le aplica un recubrimiento flexible que impide la formación de orificios. Un producto identificado como DISTIN 403.

En la figura 3 se observa un orificio en la viga que facilita la penetración de la humedad, el agua y el aerosol marino, entre otros contaminantes y no tiene además drenaje ni protección interior. Es evidente que en este caso se produce un rápido deterioro desde el interior, con

la formación de celdas. En estos orificios penetra la humedad y los contaminantes y origina la corrosión en resquicios. La solución en este caso puede ser la aplicación de grasa líquida formadora de película blanda DISTIN 314 L.

|   |  |
|---|--|
|  |  |
| <p>Fig. 2: Orificio en la unión acero-hormigón</p>                                | <p>Fig. 3: Orificio no sellado facilita la corrosión interior.</p>                 |

➤ **Prevención de la corrosión galvánica Par metálico. Problemas y soluciones.**

Si el diseño es tal que el par galvánico no puede evitarse, las superficies en contacto deberían estar aisladas eléctricamente, por ejemplo pintando las superficies de ambos metales. Si solo es posible pintar uno de los metales adyacentes a la unión, se debe pintar, el metal más noble. De modo alternativo, puede ser considerada la protección catódica.



En la figura 4 se muestra lo que puede ocurrir cuando se emplean dos materiales diferentes. En estos casos se requiere aislar los materiales en contacto, para lo cual se pueden emplear juntas de goma, siliconas, el mástique asfáltico semisólido DISTIN 403 que resulta barato y no se envejece.

➤ **Manipulación, transporte y montaje. Problemas y soluciones.**

En la figura 5 se observan los resultados de una mala manipulación de la estructura una vez elaborada, lo cual provocó el deterioro del recubrimiento de pintura, y por ello la oxidación de la misma. La solución para ello es ser sumamente cuidadoso a la hora de manipularlo.



Fig. 5 Se manipula mal la estructura y se afecta el recubrimiento.

➤ **Precauciones para evitar la retención de humedad, depósitos y agua. Problemas y soluciones.**

Debe evitarse configuraciones superficiales en las que el agua pueda quedar retenida, y que puedan en presencia de materias extrañas, incrementar el potencial de los agentes corrosivos.

En la figura 6 se muestra un mal diseño debido a que el marco posee una zona de acumulación de agua y suciedades. La solución a este problema es favorecer el drenaje. Una variante pudiera ser perforar el acero permitiendo así el drenaje hacia el suelo y pintar nuevamente usando antes la solución de fosfatado decapante DISTIN 504. Otra solución es una superficie inclinada que se logra con un relleno sobre la pintura de mástique asfáltico DISTIN 403 y pintar nuevamente.

En las figuras 7 y 8 se muestran un mal diseño anticorrosivo, en la base del tanque, que tiene superficies horizontales, que provoca acumulación de agua y suciedades. La solución a este problema es en primer término favorecer el drenaje, lo que puede ser logrado con una superficie inclinada que se logra con un relleno sobre la pintura con mástique asfáltico DISTIN 403 y pintar nuevamente.



Fig.6 Base de los motores.



Fig.7. Base de los tanques de Combustibles.



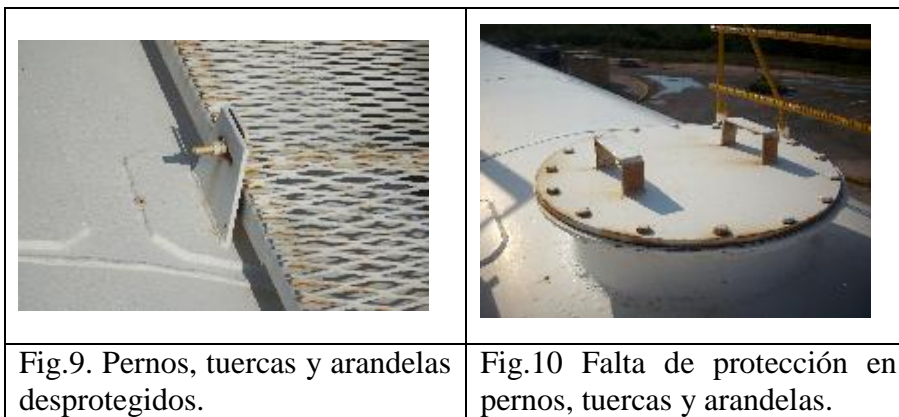
Fig. 8 Válvulas verticales.

➤ **Conexiones con pernos. Problemas y soluciones.**

En las conexiones precargadas debe prestársele atención especial a la especificación de películas de pinturas.

En la figura 9 se puede observar la corrosión en pernos, tuercas y arandelas en el soporte del radiador. La solución en este caso no puede ser sustituir el perno por una soldadura bien elaborada. Debe ser proporcionar una protección adicional para la cual se recomienda la aplicación del mástique con goma DISTIN 403 L.

En la figura 10 se ve claramente la corrosión en pernos, tuercas y arandelas. La solución a este problema puede ser proporcionar una protección anticorrosiva para la cual se recomienda la aplicación del producto DISTIN 504 decapante para la preparación de la superficie, pintar, colocar el perno con el producto DISTIN 403 para eliminar orificios y posteriormente retocar en zonas dañadas la pintura.






➤ **Problemas de soldaduras. Soluciones.**

En la figura 11 se observan las consecuencias de la aplicación inadecuada de la soldadura (soldadura discontinua), por lo cual se facilitó la penetración de la humedad y la acumulación de los contaminantes causantes de la corrosión. Es posible aliviar esta situación practicando correctamente la soldadura, emparejándola, preparando la superficie con la aplicación del DISTIN 504, pintando con la pintura adecuada y posteriormente, aplicar grasas de conservación DISTIN 314 L.

En la figura 12 se observa la soldadura del empate del tanque la cual presenta valles y crestas situación que favorece la presencia de la corrosión. Para solucionar este problema se propone emparejar la superficie, prepararla con la aplicación de disolución de fosfatado DISTIN 504 y pintar con la pintura adecuada.

En la Fig. 13 se muestra una unión soldada con imperfecciones en la misma, lo que provoca la penetración del agua y contaminantes, que promueven en su conjunto el deterioro desde el interior de los resquicios de la estructura. Una propuesta sería la aplicación de los materiales compuestos de matriz asfáltica modificados con polímero, que ya se producen como el DISTIN 403, para el sellaje interior.

|   |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <p>Fig. 11 Soldadura discontinua con huecos.</p>                                  | <p>Fig. 12 Soldadura irregular en tanques.</p>                                    | <p>Fig. 13 Unión con imperfección en la soldadura.</p>                              |

➤ **Bordes. Problemas y soluciones.**

Los bordes deben ser redondeados o biselarse desde el proceso de fabricación y las rebabas en torno a orificio y los bordes cortantes deberían eliminarse.

En la figura 14 se observan las consecuencias de bordes no redondeados desde el proceso de fabricación. La solución para ello 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.



Fig. 14. Bordes con imperfección.

**Algunos resultados económicos esperados.**

➤ **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 1).

*Tabla 1: Costos de los equipos e instalaciones del Área de combustible.*

| Nombre.                                  | Cant. | CUP        | CUC       |
|--|-------|------------|-----------|
| Tanque de Combustible 100 m <sup>3</sup> | 5     | 181 468.25 | 9 782.45  |
| Bomba de combustible                     | 2     | -----      | 3957.28   |
| Válvula de 3" con brida                  | 12    | 281.28     | 2 420.64  |
| Válvula de 4" con brida                  | 5     | 202.3      | 2091      |
| Válvula de 1" con brida                  | 19    | 342.50     | 1 563.32  |
| <b>Total</b>                             |       | 182 294.33 | 19 814.69 |

De la tabla anterior podemos observar que la inversión en el área de combustibles de la Central Eléctrica asciende a más de 150 mil de pesos en CUP y más de 15 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 2 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 2. 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   | 2,0              | 8,42   | 2,14   |
| DISTIN 314 L             | L   | 3,43  | 1,12   | 3,0              | 10,29  | 3,36   |
| DISTIN 403 L             | L   | 3,43  | 1,12   | 1,0              | 3,43   | 1,12   |
| DISTIN 403               | kg. | 2,04  | 0,65   | 2                | 4,08   | 1,3    |
| DISTIN 603               | L   | 6,28  | 0,76   | 1,5              | 9,42   | 1,14   |
| DISTIN 504               | L   | 3,07  | 0,48   | 50               | 153,50 | 24,00  |
| Total                    |     |       |        |                  | 189,14 | 33,06  |

*Tabla 3. Consumo y costo del mantenimiento y reparación de equipos anuales*

| Materiales Y operaciones | UM | CU MN | CU CUC | TOTAL A UTILIZAR | CT MN | CT CUC |
|--------------------------|----|-------|--------|------------------|-------|--------|
| PINTURA                  | L  | 0,68  | 3,18   | 20               | 13,6  | 63,6   |
| PINTURA                  | L  | 0,27  | 1,19   | 40               | 10,7  | 47,45  |
| Diluyente                | L  | 0,69  | 3,2    | 20               | 13,8  | 64     |
| Rodillos                 | U  | 1,53  | 9,58   | 10               | 15,3  | 95,8   |

|         |   |      |      |   |       |        |
|---------|---|------|------|---|-------|--------|
| Brochas | U | 0,66 | 3,03 | 8 | 5,28  | 24,24  |
| Total   |   |      |      |   | 58,68 | 295,09 |

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 productos según las fichas técnicas de los productos, 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 las instalaciones y equipos, aunque en el consumo de los mismos se tiene en cuenta este aspecto.

Teniendo en cuenta que la aplicación del SIPAYC protege las instalaciones y equipos de la Central Eléctrica por un período de cinco años contra la corrosión, la frecuencia de los gastos laborales por mantenimiento y reparación de equipos 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 equipos anuales incluyendo los costos de los productos DISTIN a aplicar lo que equivale a 247,82 MN y 328,15 CUC.

De acuerdo a los costos del mantenimiento y reparación de equipos anuales, entonces para cinco años se tendría un costo de 293,4 MN y 1 475,45 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 45,58 MN y 1 147,3 CUC.

## **Conclusiones.**

Los factores que influyen en la corrosión en el área de combustibles de la Central Eléctrica Diesel de Varadero son: los problemas de diseño anticorrosivos, la mala preparación de superficie y la aplicación de productos anticorrosivos inapropiados así como la falta de conocimiento del personal en esta temática.

Se pudo observar la influencia que tienen los problemas de diseño anticorrosivos en los diferentes tipos de corrosión proponiéndose soluciones para cada uno de ellos.

Se propuso un sistema de protección anticorrosivo y de conservación para el área de combustibles de la Central Eléctrica Diesel de Varadero mediante la aplicación de productos DISTIN de producción nacional.

## **Bibliografía.**

Autores, Cd. II Efectos del medio ambiente en la conservación de bienes y equipos metálicos. Noviembre 2005, [citado 27 de mayo 2006], disponible en <http://www.infoacero.el/acero/corrosion.htm>  
 Autores, Cd. Se puede luchar contra la corrosión. 2005. Disponible en



[http://www.asefa.es/repositorio/paginas/patologias\\_consultado\\_noviembre2005.>](http://www.asefa.es/repositorio/paginas/patologias_consultado_noviembre2005.>)

- Corvo, FB. y Mendoza, NA. Influencia de la salinidad de la atmósfera sobre la corrosión del acero. in XII Seminario Científico CNIC. Corrosión '95. 1995. Encuentro Nacional del Área de Investigación, Desarrollo y Lucha contra la Corrosión. C. Habana.
- Echeverría, CA. Cortijo, O. Sarraf, M. Influencia de la corrosión atmosférica en la industria azucarera cubana. Revista Centro Azúcar (CU), Noviembre 2000, no. 3, p. 83-86.
- Echeverría, CA., et al. Corrosión Atmosférica del Acero en Condiciones Climáticas de Cuba: Influencia del Aerosol Marino. 2002, CD Monografías Matanzas, p. 32 p (monografía).
- Echeverría, CA., et al. 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. 2003.
- Echeverría, CA. Métodos de protección a la atmósfera. Conferencia Especializada. Matanzas: Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), Universidad de Matanzas; 2003.
- Echeverría, CA., et al. Los problemas de diseño anticorrosivo: Factores desencadenantes de la corrosión en condiciones climáticas de cuba. Monografía. Retos Turísticos, 2004. ISBN 959 - 16 - 0295 - 8.
- Echeverría, C. Etapas del Procedimiento DUCAR. Matanzas, Centro de Estudio Anticorrosivo y Tensoactivo, Universidad de Matanzas; 2007.
- Echeverría, M. Corrosión atmosférica protección y conservación en la instalación hotelera en zona de alta a muy alta agresividad corrosiva. Matanzas, Centro de Estudio Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT), Universidad de Matanzas: 97; 2008.
- Espada, LR. La corrosividad atmosférica: zonas costeras, de interior y agresivas. Diciembre 2005, [citado 14 de marzo 2006], disponible en <http://www.nervion.com.mx.web.htm>
- Feliú, MS., et al. Principios de corrosión y protección de metales. Corrosión y Protección, Julio 1971, vol. 2, no. 4, p.126-133.
- Gómez, LJ. Estudio corrosivo sobre cuatro metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT. in Ciudad Habana, Septiembre 1999, Ministerio de Industria Básica, p. 183 h.
- ISO 9223. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, 1992.
- Maldonado, LV., et al. Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamérica: Parte I, Mapas de Iberoamérica de corrosividad atmosférica. Editor Programa CYTED ed. 1998: Proyecto MICAT. 787 p.
- Maldonado, LV. y Castro, LP. Atmospheric Corrosion Behaviour of Zinc, Copper and Carbon Steels in the Yucatán Península. Procedimientos del Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección. (5:1995: Tenerife, 22-27 Octubre: I. Canarias, España, I-O-09), pp. 87-88. Citado por Gómez, LJ. Estudio corrosivo sobre cuatro metales en estaciones cubanas del proyecto MICAT. Ciudad Habana., in Ministerio de la Industria Básica. 1999. p. 183 h.
- Morcillo, et al. Corrosión y protección de metales en atmósferas de Iberoamérica. Parte II- Protección anticorrosiva de metales en las atmósferas de Iberoamérica (Red temática Pátina). 1ra ed. Madrid; 2002.
- Morcillo, M. Fundamentos sobre protección anticorrosiva de metales en la atmósfera.

Corrosión y protección de metales en atmósferas de Iberoamérica. Parte II- Protección anticorrosiva de metales en las atmósferas de Iberoamérica (Red temática Pátina), XV.D/CYTED. Madrid 63-109; 2002.

Sigma Coatings, S.A.E., Manual de Protección y Mantenimiento de Metales y Hormigones. Madrid, SIGMA COATINGS, S.A. España, Mayo 1997, p. 57-80.

Tomashov, ND. Theory of corrosion and protection of metals. La Habana. Edición Revolucionaria ed. 1979.

Scott, HP. Minimizing Infrastructure Deterioration. The corrosion Journal for the Online.

UNE-EN ISO 12 944-1. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 1: Introducción general.; 1998.

UNE-EN ISO 12 944-2. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes.; 1998.

UNE-EN ISO 12 944-3. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 3: Consideraciones sobre el diseño. Norma ISO; 1998.

UNE-EN ISO 12 944-4. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Part4: Tipos y preparación de superficies.; 1998.

UNE-EN ISO 12 944-5. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 5: Sistemas de pinturas protectores.; 1998.

UNE-EN ISO 12 944-6. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 6: Ensayos de comportamiento en laboratorio.; 1998.

UNE-EN ISO 12 944-7. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 7: Ejecución y supervisión de trabajos de pintado.; 1998.

UNE-EN ISO 12 944-8. 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.; 1998.

**Anexo 1:** Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba.



MAPA REGIONAL DE LA AGRESIVIDAD CORROSIVA DE LA ATMOSFERA EN CUBA

Map of the corrosive aggressiveness of atmosphere in Cuba

- EXTREMA: Hasta 1 km de la costa norte en zonas no apantalladas
- ALTA: Franja de 1 a 3 km de la costa norte y 1 km de la costa sur
- MEDIA: Zonas montañosas (> 500 m) con mayor humedad
- BAJA: Zona a más de 20 km de las costas donde se alcanzan valores mínimos de corrosión
- MEDIA: Hasta 20 km de las costas, donde influye ligeramente el aerosol marino

| CATEGORIA | TDR       | CONTENIDO SO <sub>2</sub> | CONTENIDO Cloruro       |
|-----------|-----------|---------------------------|-------------------------|
|           | hora/año  | mg/100m <sup>3</sup> .di  | mg/l.m <sup>3</sup> .di |
| C1        | <=10      | <=10                      | <=3                     |
| C2        | 10-250    | 10-35                     | 3-50                    |
| C3        | 250-2500  | 35-50                     | 50-300                  |
| C4        | 2500-5500 | 50-200                    | 300-2500                |
| C5        | >5500     | >200                      | >1500                   |

| 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> |