

**Universidad de Matanzas**  
**Sede “Camilo Cienfuegos”**  
**Facultad de Ciencias Técnicas**  
**Departamento de Química e Ingeniería Química**  
**UDI-CEAT**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título:** Protección anticorrosiva del motor Diesel MTU Serie 4000 de la Central Eléctrica de Varadero.

**Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.**

**Autora:** Ariane Ramos Valle

**Tutores:** MSc. Asael González Betancourt

Dr.C. Ornán Méndez González

**Matanzas, 2018.**

## PENSAMIENTO

*“De amar las glorias pasadas se sacan fuerzas para adquirir las glorias nuevas”.*



*José Martí*

## **DECLARACION DE AUTORIDAD**

Yo, Ariane Ramos Valle declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma Titulado: Protección anticorrosiva del motor Diesel MTU Serie 4000 de la Central Eléctrica de Varadero, realizado en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Química, por tanto autorizo que el mismo sea utilizado en la institución con la finalidad que estimen conveniente.

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

Ariane Ramos Valle

Facultad de Ciencias Técnicas

Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”

# NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma:

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

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_

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

## **Dedicatoria.**

*A mis padres que en todo momento me han apoyado y me han dado fuerzas para seguir adelante, por su sacrificio y su amor incondicional.*

*A mi hija que ha sido mi inspiración para continuar esforzándome cada día más y para ser su ejemplo y su guía en el camino de lo bien hecho.*

*A mi esposo que ha estado siempre a mi lado, con su amor, cariño y entrega.*

*A mis hermanos por inspirarme siempre a seguir adelante en la vida.*

*A mi familia por apoyarme en los momentos difíciles y compartir conmigo los momentos de alegría.*

## **Agradecimientos.**

*A mi madre por creer siempre en mí.*

*A mi padre por estar siempre a mi lado y hacerme ver lo positivo de la vida.*

*A mi esposo por su amor, apoyo y comprensión y sobre todo por ser un padre excepcional.*

*A mis hermanos por estar siempre cuando los necesito.*

*A toda mi familia y amistades por su solidaridad y apoyo.*

*A mis tutores Ornán y Asael por la ayuda brindada, y las instrucciones para lograr esta gran meta.*

*A todos los profesores que durante la carrera me brindaron sus conocimientos y consejos.*

*A mis compañeros de grupo que siempre me apoyaron y ayudaron.*

*A Dios por hacer que se cumplan mis sueños.*

*Muchas gracias a todos.*

## Resumen.

Los motores MTU Serie 4000 de los grupos electrógenos, por razones de explotación, mantenimiento y reparación deben ser detenidos en ocasiones por períodos relativamente largos. Cuando estos períodos son superiores a los 15 días se da inicio al proceso de corrosión entre los aros de los pistones y las camisas de los blocks, debido fundamentalmente a la agresividad de los gases productos de la combustión, a la carbonilla residual y a la humedad relativa del medio ambiente que penetra a través de las válvulas de admisión y escape acelerando dicho proceso y provocando que los motores se tranquen por el grupo cilindro-pistón, incurriendo en una reparación capital del motor con un elevado costo en divisas. En este trabajo se realiza un diagnóstico de los principales problemas de diseño anticorrosivos y de corrosión del grupo cilindro-pistón y de las áreas exteriores del motor MTU-4000, identificándose las principales causas de estas afectaciones, se muestran ensayos acelerados en cámaras de niebla salina (NSS) y ensayos de resistencia a la humedad y temperatura con condensación constante, que evalúan de manera satisfactoria los productos DISTIN. Se muestra también la factibilidad de aplicación de una tecnología para la conservación del motor que impida una avería por causa de la corrosión en el grupo cilindro-pistón, explicándose las operaciones específicas de la tecnología para la protección anticorrosiva del mismo (interior y exterior). Se realiza una evaluación económica comparada con otros métodos de conservación.

## **Abstract.**

The MTU 4000 Series motors of the generating sets, for reasons of operation, maintenance and repair, must be stopped occasionally for relatively long periods. When these periods are longer than 15 days, the corrosion process begins between the piston rings and the block sleeves, mainly due to the aggressiveness of the combustion products gases, residual char and relative humidity of the environment that penetrates through the intake and exhaust valves accelerating said process and causing the engines to be locked by the cylinder-piston group, engaging in a capital repair of the engine with a high cost in foreign currency. In this work a diagnosis of the main anticorrosive design and corrosion problems of the cylinder-piston group and of the exterior areas of the MTU-4000 engine is made, identifying the main causes of these affectations, accelerated tests are shown in saline fog chambers (NSS) and tests of resistance to humidity and temperature with constant condensation, which satisfactorily evaluate the DISTIN products. It also shows the feasibility of application of a technology for the conservation of the engine that prevents a breakdown due to corrosion in the cylinder-piston group, explaining the specific operations of the technology for its anticorrosive protection (interior and exterior). An economic evaluation is carried out compared with other conservation methods.



# Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Análisis Bibliográfico. ....	3
1.1) La revolución energética y el deterioro por corrosión.....	3
1.1.1) Antecedentes de la revolución energética. ....	3
1.1.2) Incidencia económica de la corrosión. ....	4
1.2) Motores de combustión interna. ....	6
1.3) Corrosión atmosférica del acero.....	8
1.3.1) Corrosión atmosférica y agresividad corrosiva.....	8
1.3.2) Caracterización de la agresividad corrosiva de la atmósfera en la zona de la instalación.....	9
1.4) Diseño anticorrosivo y su influencia en la corrosión. Enfoque en sistemas. .	16
1.5) La protección anticorrosiva y conservación en instalaciones y equipos.....	19
1.5.1) Enfoque en sistema de la protección anticorrosiva con recubrimiento. ...	21
1.5.2) Sistemas de protección anticorrosiva con pinturas .....	22
1.5.3) Protección anticorrosiva y conservación adicional. ....	25
Conclusiones parciales del capítulo.....	28
Capítulo II: Diagnóstico del diseño anticorrosivo, corrosión, protección y conservación. Ensayos.....	29
2.1) Materiales y métodos. ....	29
2.2) Diagnóstico de los problemas de diseño anticorrosivos y de corrosión. ....	30
2.2.1) Áreas exteriores del motor MTU-4000. ....	30
2.2.2) Área del grupo cilindro-pistón.....	33
2.3) Diagnóstico de la preparación de superficies .....	37
2.4) Ensayos acelerados en cámaras de niebla salina (NSS) .....	38
2.5) Ensayos de resistencia a la humedad y temperatura con condensación constante. ....	45

<b>Conclusiones Parciales del Capítulo .....</b>	<b>48</b>
<b>Capítulo III: Propuesta de un sistema de protección anticorrosiva y conservación.</b>	
<b>Análisis de resultados.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1) Materiales y Métodos.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2) Propuesta de la tecnología para un sistema de protección anticorrosiva y conservación. ....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.1) Agresividad corrosiva de la atmósfera.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.2) Diseño anticorrosivo. ....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.3) Propuesta de la tecnología para un sistema de protección anticorrosiva del motor MTU-4000. ....</b>	<b>51</b>
<b>3.3) Análisis de los resultados técnicos.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.1) Carta operacional para la conservación del motor MTU-4000.....</b>	<b>60</b>
<b>3.4) Resultados obtenidos en la determinación de la cantidad de aceite necesario para conservar el grupo cilindro-pistón del motor DETROIT MTU Serie 4000..</b>	<b>64</b>
<b>3.5) Algunos resultados económicos esperados. ....</b>	<b>65</b>
<b>Conclusiones parciales del capítulo.....</b>	<b>68</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>69</b>
<b>Recomendaciones. ....</b>	<b>70</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>71</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>77</b>

# Introducción.

El programa de ahorro de energía cubano conocido como "Revolución Energética" se basó en la sustitución de las viejas Centrales Termoeléctricas por generadores eléctricos, y en la renovación de los viejos equipos electrodomésticos, persiguiendo como principales objetivos, el incremento de la producción de energía y el uso más racional de los recursos energéticos.

En los últimos años, la Revolución Energética ha provocado un aumento en el número de instalaciones y equipos para la generación y distribución de la electricidad, todos sometidos a las condiciones de la atmósfera de Cuba, que por su agresividad y los problemas de diseño anticorrosivo que presentan, ha provocado una disminución de la disponibilidad técnica para la generación de energía.

Para favorecer la rápida puesta en funcionamiento de las instalaciones y equipos, se han introducido de forma apreciable las construcciones metálicas, provocando un incremento en el mantenimiento de las Centrales Eléctricas de nueva creación en todo el país, demandando la toma de medidas en la actividad de protección anticorrosiva.

La agresividad corrosiva imperante que se clasifica de media, alta, muy alta y extrema con predominio de las últimas clasificaciones, los problemas de diseños anticorrosivos y la falta de preparación del personal, provoca el deterioro prematuro de los materiales fundamentalmente metálicos y sus sistemas de protección.

La Central Eléctrica Diesel MTU de nueva generación, es una instalación que consta de una máquina que mueve un generador de electricidad, a través de motores de combustión interna. Estos motores por razones de explotación, mantenimiento y reparación deben ser detenidos en ocasiones por períodos relativamente largos.

Por investigaciones realizadas se conoce que a partir de los 15 días de detención de un motor Diesel, comienza en el interior del grupo cilindro-pistón a crearse las condiciones para que aparezca la corrosión, que se acelera con la influencia

climática de un país tropical húmedo como es Cuba, y además con la existencia en la cámara de combustión y en el grupo cilindro-pistón de residuos de la combustión.

De no tomarse medidas a tiempo con un motor que está fuera de servicio , sucede la corrosión principalmente entre los aros y la camisa del motor, provocando una avería que impide todo movimiento del grupo cilindro-pistón y que popularmente se conoce como” motor trancado”.

Por lo antes planteado se tiene como problema:

**Problema Científico:**

Deterioro por corrosión del motor Diesel MTU Serie 4000 al estar fuera de servicio.

Por lo que tenemos como Hipótesis:

**Hipótesis**

Si se realiza el estudio del deterioro por corrosión del motor Diesel MTU Serie 4000 al estar fuera de servicio, se puede proponer una adecuada tecnología para un sistema de protección anticorrosiva y conservación, evitando que el motor detenido sufra una avería.

**Objetivo General:**

Proponer una adecuada tecnología para un sistema de protección anticorrosiva y conservación del motor Diesel MTU Serie 4000.

**Objetivos específicos:**

- Realizar una búsqueda bibliográfica del estado del arte en sistemas anticorrosivos.
- Diagnosticar los problemas de diseño anticorrosivo, corrosión, protección y conservación del motor Diesel MTU Serie 4000 de la Central Eléctrica de Varadero.
- Proponer la aplicación de una tecnología para el sistema de protección anticorrosiva y conservación del motor basado fundamentalmente en productos y procedimientos de protección anticorrosiva y conservación nacionales.
- Evaluar económicamente la propuesta de tecnología de protección anticorrosiva.

## **Capítulo I: Análisis Bibliográfico.**

Este capítulo tiene como finalidad ampliar los conocimientos teóricos, mediante una búsqueda bibliográfica de algunas temáticas tales como: la revolución energética, motores de combustión interna y la corrosión atmosférica del acero. Además se exponen los problemas de diseño anticorrosivo y la protección anticorrosiva en instalaciones y equipos.

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

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

El proceso de electrificación en Cuba desde la etapa Colonial y Neocolonial hasta el surgimiento del Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), en 1997, constituyen los principales antecedentes, de una etapa compleja y de grandes perspectivas: La Revolución Energética (González, A. 2011).

Primeramente 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. La Central Eléctrica está constituida principalmente por un área de generación (Anexo1); 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 demandando la toma de medidas en la actividad de protección anticorrosiva.

Influye en lo anterior, la agresividad corrosiva imperante que 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 sometidos en lo fundamental a la acción de la atmósfera, además de otros medios agresivos, como son los gases de escape que se producen en el proceso de generación eléctrica.

Según (Molina, JD, *et. al.*, 2011), la influencia de los gases afecta a las superficies metálicas en dependencia de la concentración existente en la atmósfera y de los tipos de metales que se encuentren expuestos a ellos. En nuestro caso tenemos la presencia de los gases producto de la combustión del Diesel para la generación eléctrica.

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 influye en lo anterior la falta de conocimientos sobre el tema de los especialistas que adquieren la nueva tecnología, así como 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.

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

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 (PIB). (González, A. 2014). 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 (Gil, L. 2011), 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, (López, I. 2008), 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 no se aplica lo establecido con respecto al diseño anticorrosivo, que puede ser adecuado para los países de donde provienen los equipos, pero no para 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.

En su trabajo “Los costos de la corrosión en los Estados Unidos” en 1949, Uhlig realizó los primeros estudios relacionados con los costos de la corrosión, (Echeverría, M. et al. 2008), donde desarrolló 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% (Echeverría, M. et al. 2009).

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 PIB, 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 ( Gil, L. 2011).

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, incrementan el deterioro, y en consecuencia las pérdidas económicas en las Centrales Eléctricas (González, A. 2011).

Tomashov estima que el 50% de los costos por corrosión corresponden a la corrosión atmosférica, planteamiento con el que coinciden varios investigadores

del tema (Molina, JD, *et. al.*, 2011; Echeverría, C.A. *et al.* 2004; 2005; Echeverria, M. *et al.* 2007, Gil, L. 2011, Núñez, C.A.2014). Este planteamiento tiene gran importancia si se tiene en cuenta que la mayoría de las instalaciones y equipos 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 justifica la necesidad de la toma de medidas para disminuir las pérdidas por corrosión atmosférica. (Echeverría, M. *et al.* 2009).

### **1.2) Motores de combustión interna.**

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión (Méndez, O. 2012).

La cámara de combustión es un cilindro, por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al cilindro. La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara. La cara exterior del pistón está unida por una biela al cigüeñal, que convierte en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón.

En los motores de varios cilindros, el cigüeñal tiene una posición de partida, llamada espiga de cigüeñal y conectada a cada eje, con lo que la energía producida por cada cilindro se aplica al cigüeñal en un punto determinado de la rotación. Los cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento del eje. Un motor alternativo puede tener de 1 a 28 cilindros (en el presente trabajo el motor de interés presenta 16 cilindros (Anexo 2)).

Los primeros motores de combustión interna alternativos de gasolina que sentaron las bases de los que conocemos hoy fueron construidos casi a la vez por Karl Benz y Gottlieb Daimler. Los intentos anteriores de motores de combustión interna



no tenían la fase de compresión, sino que funcionaban con una mezcla de aire y combustible aspirada o soplada dentro durante la primera parte del movimiento del sistema. La distinción más significativa entre los motores de combustión interna modernos y los diseños antiguos es el uso de la compresión.

Los motores Otto y los Diesel tienen los mismos elementos principales, (bloque, cigüeñal, biela, pistón, culata, válvulas) y otros específicos de cada uno, como la Bomba de inyección de alta presión en los Diesel, o antiguamente el carburador en los Otto. (Anexo 3)

En teoría, el ciclo Diesel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar en este último a volumen constante en lugar de producirse a una presión constante. La mayoría de los motores Diesel son asimismo del ciclo de cuatro tiempos, salvo los de tamaño muy grande, ferroviario o marino, que son de dos tiempos. Las fases son diferentes de las de los motores de gasolina.

En la primera carrera, la de admisión, el pistón sale hacia fuera, y se absorbe aire hacia la cámara de combustión. En la segunda carrera, la fase de compresión, en que el pistón se acerca, el aire se comprime a una parte de su volumen original, lo cual hace que suba su temperatura. Al final de la fase de compresión se inyecta el combustible a gran presión mediante la inyección de combustible con lo que se atomiza dentro de la cámara de combustión, produciéndose la inflamación a causa de la alta temperatura del aire. En la tercera fase, la fase de trabajo, la combustión empuja el pistón hacia fuera, transmitiendo la fuerza longitudinal al cigüeñal a través de la biela, transformándose en fuerza de giro par motor. La cuarta fase es, al igual que en los motores Otto, la fase de escape, cuando vuelve el pistón hacia dentro. (Méndez, O. 2012)

Al ser detenidos los motores Diesel por un período superior a los 15 días se da inicio al proceso de corrosión entre los aros de los pistones y las camisas de los blocks, debido fundamentalmente a la agresividad de los gases productos de la combustión, a la carbonilla residual y a la humedad relativa del medio ambiente que penetra a través de las válvulas de admisión acelerando los procesos de corrosión (Oquendo, C. 2015).

En nuestro País, en los Grupos Electrógenos de la Generación Distribuida se han detectado motores del tipo MTU trancados por el grupo cilindro-pistón debido a la detención obligatoria por períodos superiores a los 15 días. El costo de cada motor se encuentra alrededor de los 350 000 CUC.

El motor en el proceso de combustión produce el CO<sub>2</sub> y sus residuales se encuentran en grandes concentraciones en la cámara de combustión, en la camisa y el pistón, pero además en las válvulas de admisión y escape.

El paso de los contaminantes atmosféricos al interior del motor están dado por la posibilidad que se tiene de pasar a través del tubo de escape hacia el múltiple de escape y por las válvulas de admisión y escape pasan al grupo cilindro-pistón, afectando la unión de los metales de los aros y las camisas de block del motor. Por otro lado el aire contaminado también pasa por los filtros de aire hacia los múltiples de admisión y de este lugar a las válvulas que al estar abiertas pasa al interior del grupo cilindro-pistón. Por esta razón es de obligatorio cumplimiento realizar trabajos que impidan el paso de los contaminantes atmosféricos al interior del motor por estas dos entradas (Oquendo, C. 2015).

### **1.3) Corrosión atmosférica del acero.**

La gran mayoría de las estructuras metálicas se construyen de acero al carbono, que es un material no muy resistente a la corrosión atmosférica, aún en atmósferas poco agresivas, lo que obliga a enormes gastos de protección, sobre todo en recubrimientos (Domínguez, 1987).

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 (López, I. 2008).

#### **1.3.1) Corrosión atmosférica y agresividad corrosiva.**

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 (Samoilova, O.V. et al. 2005, López, I. 2008).

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 (Rodríguez, M.T. 2004; Cook, D.C. 2005; Shifler, D. 2005; Echeverría, C.A. et al. 2005; 2008, 2010; Almeida, E. et al. 2006; López, I. 2008, Echeverría, M. et al. 2007, 2015).

Dada 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).

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

La atmósfera es uno de los medios corrosivos naturales más difundido y es, precisamente, en este medio donde ocurre la mayor parte del daño por corrosión a equipos y estructuras metálicas. Se plantea que alrededor de un 80 % de las estructuras metálicas están expuestas a la atmósfera. (López, I. 2008).

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).

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>, NaCl, 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. (Echeverría, M. et al. 2007)

“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”.

### **1.3.1.1) Factores que influyen en la velocidad de corrosión.**

Los principales factores que operan en la corrosión atmosférica, según (Pierre, R. 2007) 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.

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

Los parámetros más importantes 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, entre otras vías. Estos factores pueden afectar la corrosión del metal expuesto en condiciones exteriores o interiores.

Los parámetros más importantes están relacionados por la combinación de:

- Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR):
- Precipitación pluvial
- Tiempo de humectación (TDH)

#### **✓ 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 bajo la acción de la radiación solar. De acuerdo con lo anterior, al aumentar la temperatura de la superficie

metálica, disminuye la velocidad de corrosión e incluso, el proceso corrosivo se detiene en ausencia de humedad (Gil, L. 2011). Por lo antes expuesto se puede observar que en muchos casos la corrosión atmosférica bajo techo simple es mayor que a la intemperie.

✓ **Humedad Relativa (HR):**

Uno de los tipos de corrosión atmosférica es la húmeda, que se presenta bajo la acción de delgadas películas de humedad no visibles, lo cual tiene lugar para humedades relativas inferiores al 100 % y superiores al 50 %, según refiere (Echeverría, M. et al. 2009).

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, lo que determina la falta de establecimiento de capas de productos de corrosión protectoras. No obstante se insiste que lo determinante en la magnitud de la corrosión atmosférica es el tiempo en que permanece la superficie metálica húmeda.

✓ **Tiempo de humectación (TDH):**

Este parámetro es de gran importancia, puesto que es una medida directa para el tiempo real de corrosión del metal.

Habitualmente el TDH es calculado en horas, de acuerdo con la norma internacional ISO 9233: 92, utilizando el valor de HR= 80 % como valor crítico ( $T \geq 0$  °C), cuando inicia la condensación de agua sobre la superficie del metal. Al llegar la HR a 90 % y  $T < 25$  °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.

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, su velocidad de corrosión. (Paradela, Y. 2011).

✓ **Efecto de las lluvias:**

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.

✓ **Influencia de los vientos:**

Según (Gil, L. 2011), en Cuba el encargado de transportar los contaminantes es el viento. Destaca (Núñez, C.A.2014) que la velocidad del viento puede promover un doble efecto, si se conjuga con la lluvia ya que en ausencia de ésta, 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 (Gil, L. 2011, González. A. 2013) 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. (Núñez, C.A.2014, Aballe, Y. 2016).

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 mayor influencia tiene en las elevadas pérdidas por corrosión que se producen en estas áreas. En las condiciones climáticas de Cuba, este factor resulta determinante (Aballe, Y. 2016). 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 absorción competitiva entre los cloruros y los sulfatos.

Por otra parte, en nuestras condiciones ambientales se ha planteado que se distinguen dos períodos cualitativamente diferentes en el año, uno es la temporada invernal o de seca (octubre a marzo), con gran influencia de los vientos del nortee-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 (Aballe, Y. 2016).

En (Gil, L. 2011) se demuestra la influencia del aerosol marino en la magnitud de la corrosión atmosférica, con lo que coinciden casi la totalidad de los autores, en las publicaciones más recientes.

### **1.3.1.3) 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 (Gil, L. 2011).

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 (Gil, L. 2011) 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 II ( $\text{Fe Cl}_2$ ).
- 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.

#### **1.3.1.4) El ión sulfato y la corrosión atmosférica.**

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

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. (Núñez, C.A.2014). 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, (Núñez, C.A.2014), 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 (Vera R, et al. 2012).

#### **1.3.1.5) 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, 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 con el criterio de 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. (NC-ISO 12 944-2. 2008; López, I. 2008, Gil, L. 2011, Aballe, Y. 2016).

(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.

(Aballe, Y. 2016), 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: 2005) y el Mapa de Agresividad Corrosiva de la Atmósfera de Cuba (Anexo 4), 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 concluye 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 (Mercedes, Y. 2015) en zonas cercanas al establecimiento.

#### **1.4) 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).

(González, A. 2014) plantea 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 (NC-ISO 11303: 2009; NC-ISO 12944. 3:2007, NC-ISO 12944. (1-2-5):2008, NC-ISO 12944. 6:2009, NC-ISO 12944. (4-7-8):2014). 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 instalaciones y equipos es imprescindible el cumplimiento de estas normas.

Según (Mercedes, Y. 2015), Echeverría, M. et al. 2009), es posible encontrar en conjunto varios problemas de diseño anticorrosivo de los que se citan en las normas NC-ISO 12944 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 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; (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 que lograr por cualquier forma convertir estas áreas inaccesibles en componentes huecos con una adecuada protección anticorrosiva para conseguir así 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 (NC-ISO 12 944-5,2008) pero no precisada, con lo que concuerda (Echeverría, M. et al. 2009) y se ha demostrado en la práctica.

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 (Shixer, DA. 2005; Mercedes, Y. 2015).

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 eliminarlos o atenuarlos sean menores o en ocasiones 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. 2005, Dominguez, J. A. et al.2010, Álvarez, Y. 2014). 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.

### **1.5) La protección anticorrosiva y conservación en instalaciones y equipos.**

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.

El ser humano sólo puede actuar mitigando los efectos de la corrosión e intenta 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 (Paradela, Y. 2011).

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 (González, A. et al. 2015 (a)). 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 (Otero, E. 2000).

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 se aplique y 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 ( Guerra, C.H.2014).

Según (Echeverría, C.A. et al. 2010), 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 cuál de los tres acercamientos es más adecuado y económico.

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 (Rodríguez, M.T. 2004; Shifler, D. 2005; Schmidt, D.P. et al. 2006; López, I. 2008, Paradela, Y. 2011). Existe una gran variedad de recubrimientos que pueden ser divididos en recubrimientos metálicos, inorgánicos y orgánicos (Pierre, R. 2007, González, A. et al. 2015, et al (b)). 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 (Pierre, R. 2007). Las razones fundamentales son su bajo costo y su facilidad de aplicación.

En la presente investigación se centra el estudio en la protección anticorrosiva y conservación del motor MTU-4000.

#### **1.5.1) Enfoque en sistema de la protección anticorrosiva con recubrimiento.**

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 (Fragata, F. et al. 2002; Ochoa, et al. 2005, Pierre, R. 2007, Guerra, C.H. 2014).

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.

### **1.5.2) Sistemas de protección anticorrosiva con pinturas**

La aplicación de pinturas es un método de protección muy utilizado. Durante la década del 90 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).

#### **1.5.2.1) Etapas del sistema de protección anticorrosiva con pinturas**

Las etapas del sistema de pintura que establece la norma, se presentan a continuación:

- **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. et al., 2005; NC-ISO 11303: 2009, Dominguez, J. A. *et al.*2010), ya que conllevará a definir 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 seleccionar 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 fundamental determinar 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.

- **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 suciedad y oxidación. Además, se deben tener consideraciones económicas, tecnológicas, de ubicación y de disponibilidad de mano de obra especializada (NC- ISO 12 944-4: 2014).

La etapa de preparación superficial es una de las más importantes para que un esquema de pintura logre el desempeño esperado (Echeverría, C.A. et al. 2005, Pierre, R. 2007), el cual obedece a 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 (Ochoa, et al. 2005, López, I. 2008), 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 ( Pierre, R. 2007, Guerra, C.H.2014, Aballe, Y. 2016). 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 aplica a superficies mal preparadas.

- **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 se hacen en una serie de ellas, cada una de las cuales posee características específicas ( López, I. 2008; González, A. 2014).

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 (NC- ISO 12 944-5: 2008; Rodríguez, M.T. 2004; Schmidt, D.P. et al. 2006, Dominguez, J. A. et al.2010).

La incompatibilidad entre las pinturas que conforman el sistema es un factor determinante en la calidad del recubrimiento (Echeverría, C.A. et al. 2005; Fragata, F. et al. 2006, Álvarez, Y. 2014).

La Norma (NC- ISO 12 944-5:2008) 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 existentes.

- **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 NC-ISO 12 944-8: 2014, a no ser que se acuerde lo contrario.

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

### **1.5.3) Protección anticorrosiva y conservación adicional.**

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.

#### **1.5.3.1) Materiales compuestos de matriz asfáltica.**

Los materiales compuestos están constituidos básicamente por matrices y rellenos. La matriz es, en esencia, el elemento aglomerante y sus propiedades determinan la resistencia a la fatiga, a los efectos del medio, a la temperatura de trabajo, adherencia ( Oquendo, C. 2015).

Los rellenos poseen altos valores de dureza, resistencia y módulo de elasticidad. La combinación adecuada de la matriz y el relleno origina unos materiales con mejores propiedades que las partes que los componen por separado. Algunos rellenos presentan un excelente comportamiento ante la corrosión y ataque de agentes ambientales, por otra parte, 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).

Uno de los materiales más utilizados como matriz es el asfalto y una de las formas de mejorar sus propiedades es oxidándolo (Núñez, C.A.2014).

El Mástique asfáltico DISTIN 403 está especialmente preparado para usarlo en 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. El DISTIN 403 L 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 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.

#### **1.5.3.2) Grasas de conservación**

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. Un ejemplo de ello es su duración por más de 5 años en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Estos resultados no se han reportado por otras grasas de importación en evaluaciones realizadas en Cuba a la intemperie y bajo techo (Echeverría, C.A. et al. 2008).

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

La grasa líquida de conservación DISTIN 314 L está especialmente preparada para la protección por proyección de componentes huecos, áreas cerradas,

intersticios y otras partes de las estructuras metálicas y equipos en general, proporcionando una barrera al agua y otros agentes. La capa que se forma por evaporación del solvente, no se emulsiona, ni chorrea a temperatura ambiente.

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.

El aceite de conservación DISTIN 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.

Por lo antes analizado, las grasas encuentran aplicación dentro de los sistemas de protección anticorrosiva y de conservación del motor MTU-4000.

#### **1.5.3.4) Cera abrillantadora e impermeabilizante**

La cera abrillantadora e impermeabilizante DISTIN 603 L 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. Proporciona a los recubrimientos de pintura una mayor resistencia a la radiación ultravioleta. Puede ser aplicada sobre madera, hormigón, mortero, no teniendo reacciones adversas.

#### **1.5.3.5) Disolución de Fosfatado**

La disolución de fosfatado decapante DISTIN 504 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. Produce un efecto inmediato al tratar superficies oxidadas, 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. Se recomienda aplicar recubrimiento después de las 72 horas.

La disolución de fosfatado no decapante DISTIN 505 para la preparación rápida de superficies metálicas no oxidadas, logrando los mismos efectos que la anterior.

Ambos productos garantizan 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.

### **Conclusiones parciales del capítulo**

1. Los motores de combustión interna tienen como distinción más significativa el uso de la compresión.
2. Los problemas de diseño anticorrosivos tienen gran influencia sobre los problemas de corrosión.
3. Los efectos de los factores atmosféricos, los problemas de diseño anticorrosivo, el 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.
4. 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.
5. Las disoluciones de fosfatado, por las ventajas que ofrece y su fácil aplicación, son un buen complemento para la preparación superficial cuando no puede ser aplicado el método de chorreado.
6. Los productos DISTIN como las grasas de conservación temporal, los materiales compuestos de matriz asfáltica y las ceras impermeabilizantes encuentran utilización en la aplicación de los sistemas de protección anticorrosiva y de conservación para complementar la protección que ofrecen los esquemas de pinturas sobre los sustratos metálicos.

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

### **2.1) Materiales y métodos.**

En los motores MTU-4000 de la Central Eléctrica Diesel MTU de Varadero, los materiales que principalmente se emplean son: hierro fundido como el ASTM A48 en todo el cuerpo y aluminio en las tapas y en el grupo cilindro-pistón se emplea aluminio en el pistón, acero al carbono (AISI 1020) en el cilindro y los anillos son fabricados con materiales resistentes al desgaste como el acero y son tratados con una capa adicional para mejorar su aguante. Típicamente, los anillos superiores y de control de aceite estarán cubiertos con una capa de Cromo o Nitruro rociado.

Para proceder al trabajo de mesa hay que conocer los diferentes problemas de diseño anticorrosivo que presenta el equipo, por lo que hay que consultar de forma obligada las Normas Internacionales, en particular las Normas (NC-ISO 12944. 3:2007, NC-ISO 12944. (1-2-5):2008, NC-ISO 12944. 6:2009, NC-ISO 12944. (4-7-8):2014. 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.

Como método para la realización del diagnóstico se tuvieron 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 del motor MTU-4000. Para ello se realiza un análisis visual detallado para observar todos los problemas que existen. La observación se realiza de derecha a izquierda, de adelante hacia atrás y de abajo hacia arriba.

- **Fotografía digital**

Después de realizada la observación con el procedimiento anteriormente descrito se procede a la toma de las muestras fotográficas de todos los problemas existentes en el motor MTU-4000, que posteriormente serán analizadas en trabajo

de mesa mediante el uso de las Normas (NC-ISO 12944. 3:2007, NC-ISO 12944. (1-2-5):2008, NC-ISO 12944. 6:2009, NC-ISO 12944. (4-7-8):2014.

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

El primer paso en el tratamiento anticorrosivo y conservación es la identificación de los problemas de diseño anticorrosivo. 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 las instalaciones y equipos.

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

Un factor ignorado frecuentemente es el incumplimiento de las normas internacionales de diseño anticorrosivo desde la etapa inicial del diseño de las construcciones metálicas. Esto decididamente favorece y acelera el proceso de la corrosión, lo que conlleva sin dudas a considerables pérdidas económicas.

Seguidamente se analizan las áreas exteriores del motor MTU-4000 y el área del grupo cilindro-pistón, mencionando los diferentes problemas de diseño anticorrosivo identificados como resultado del diagnóstico realizado, así como los tipos de corrosión que se originan.

### **2.2.1) Áreas exteriores del motor MTU-4000.**

Los motores MTU-4000 no presentan grandes problemas de diseño anticorrosivos (figura 2.1). Tienen poca accesibilidad para las herramientas que se tienen que utilizar en la conservación de los mismos (figura 2.2).



Figura 2.1 Vista General del Motor



Figura 2.2 Área de difícil acceso



Los componentes que pueden sufrir corrosión y deban presentar inaccesibilidad después del montaje, deben fabricarse con materiales resistentes a la corrosión o tener un sistema de pintura protector que sea efectivo durante el tiempo de servicio de la estructura, evitando que tenga lugar la corrosión atmosférica húmeda y la corrosión por celdas de aireación diferencial.

Otro de los problemas que presentan las áreas exteriores del motor es el de tratamiento de orificios tal y como se muestra en la figura 2.3 con flecha blanca.



Figura 2.3 Problemas de tratamiento de orificios.

Este problema de diseño 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 así como de la corrosión.

Además se muestra en la figura 2.4 con flecha amarilla la retención de humedad, depósitos y agua que como se observa provoca serios problemas. Con solo haber humedad, se produce la corrosión atmosférica húmeda. Esta se clasifica 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. En esta figura se puede observar también el problema de resquicio con flecha blanca.

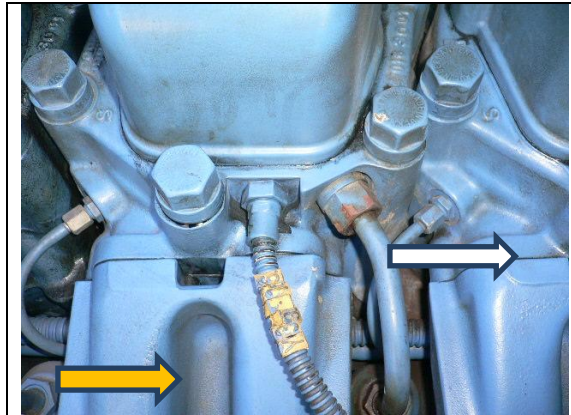


Figura 2.4 Problemas de retención de humedad, depósitos y agua. Problemas de resquicio.

Otro problema de corrosión que se puede encontrar en estas situaciones es 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.

Esta diferencia de concentración, origina una diferencia de potencial, donde el ánodo es la zona donde aparece la acumulación o depósito y el cátodo sus alrededores.

En la figura 2.5 que constituye el intercambiador de calor acoplado al motor podemos encontrar los problemas de conexión con pernos con flecha blanca, y los de intersticios o resquicios con flecha amarilla. Se observa la corrosión atmosférica húmeda que se clasifica del tipo de corrosión electroquímica, atmosférica, uniforme y la corrosión en resquicio descrita anteriormente.

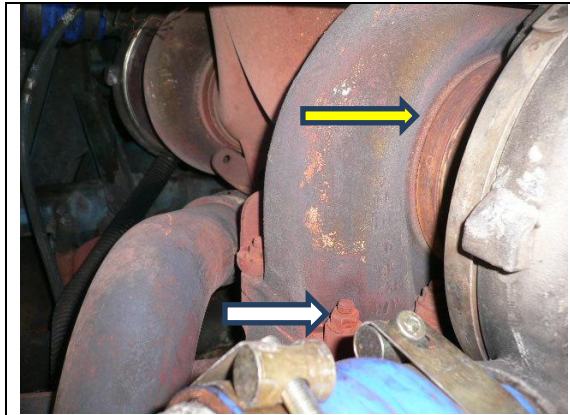


Figura 2.5 Problemas de conexiones con pernos y resquicio.

A las conexiones precargadas como los pernos, tuercas y arandelas se les debe prestar atención especial, en cuanto a la especificación de películas de pinturas.

### **2.2.2) Área del grupo cilindro-pistón.**

En el grupo cilindro-pistón el material del pistón es aluminio y el cilindro es de acero al carbono por lo que es necesaria la prevención de la corrosión galvánica, producto de la unión de materiales de naturaleza diferente que se presenta.

Otro problema predominante es el de intersticios o resquicios. En la figura 2.6 se pueden observar estos problemas de diseño anticorrosivo.

La prevención de la corrosión galvánica, se puede observar por la presencia de diferentes materiales. La corrosión que se genera es del mismo nombre siendo del tipo electroquímica, no uniforme.

En ella el metal más activo actúa como ánodo y sobre el metal menos activo tiene lugar la reducción del agente oxidante y actúa como cátodo. En esto, influye la magnitud de la diferencia de potenciales y la diferencia de áreas entre metales. Si el diseño es tal que el par galvánico no puede evitarse, las superficies en contacto deberían estar aisladas eléctricamente.

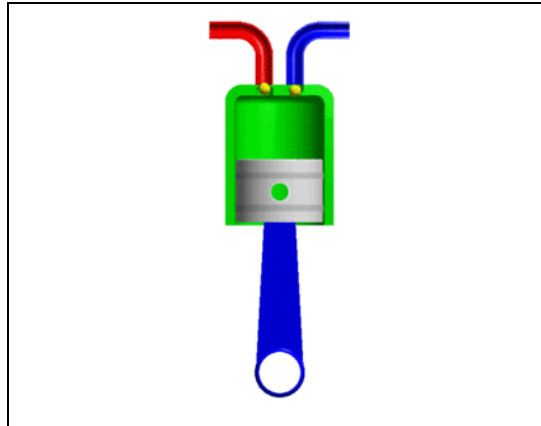


Figura 2.6 Problemas de prevención de la corrosión galvánica y el de intersticios o resquicios.

Producto de las paradas prolongadas, los motores presentan problemas en el funcionamiento en el momento del arranque. Se reportan motores trancados debido a que se crea una capa de óxido sobre las superficies internas (grupo cilindro – pistón), uniendo los aros con el cilindro, por la falta de conservación interior de los motores para períodos superiores a los 15 días de inactividad.

Se acelera la corrosión con la influencia climática de un país tropical húmedo como es Cuba, y además con la existencia en el grupo cilindro-pistón de residuos de la combustión.

### 2.2.2.1) Endoscopía del cilindro-pistón.

El examen endoscópico tiene como requisitos previos, que el motor esté detenido y el arranque esté deshabilitado, y entre las herramientas especiales que se emplean está Endoscopio rígido Y20097353 1(figura 2.7).



Figura 2.7 Endoscopio.

A continuación se detallan las etapas preparatorias:

1. Retirar la cubierta de la culata.
2. Extraer el inyector

Para colocar el cigüeñal en el punto muerto inferior (PMI):

1. Con el dispositivo de bloqueo, girar hasta que el cigüeñal del cilindro a probar haya alcanzado el PMI.
2. Insertar el endoscopio en el revestimiento del cilindro a través del asiento del inyector.

El examen endoscópico pretende determinar los siguientes resultados antes de la conservación:

- Revestimiento de carbono fino en el anillo rascador de carbono.
- Áreas lisas localizadas en el borde inferior.
- Depósitos de carbón en toda la circunferencia entre el anillo superior del pistón y el borde inferior del anillo rascador de carbono.
- Primeros signos de marcas dejadas por el anillo superior del pistón.
- Marcas brillantes en toda la circunferencia.
- Primeros signos de marcas dejadas por los agujeros de enfriamiento más bajos.

Áreas más oscuras de intensidad de color uniforme o variable:

- El inicio y el final de la decoloración no están definidos de forma precisa y no cubren el área de carrera completa.
- Los anillos de pistón no pueden presentar roturas.

Pasos finales

1. Instalar el inyector.
2. Instalar la tapa de la culata.

### **2.2.2.2) Procedimiento para la determinación de la cantidad de aceite necesario para conservar el grupo cilindro-pistón del motor DETROIT MTU Serie 4000.**

Este trabajo se realizó en correspondencia con la metodología elaborada por el CID-DCM TRANS y un trabajo experimental en base al aceite de conservación DISTIN 318, de fabricación y formulación del Centro Anticorrosivo y Tensoactivo de la Vicerrectoría de Investigación y Posgrado de la Universidad de Matanzas. Para ello se tomaron probetas decapadas y desengrasadas según la norma ISO 8407 en las que se depositaron muestras de aceite de conservación DISTIN 318, a una temperatura entre 60 y 70 grados Celsius.

Se realizaron 4 repeticiones en una superficie de las probetas de 77,225 mm<sup>2</sup>. Se determinó el consumo de aceite necesario (CAN) en (ml por mm<sup>2</sup>) dividiendo el consumo de aceite total en ml obtenido experimentalmente, entre las superficies de las probetas.

Para poder determinar el aceite de conservación que se consume en cada cilindro del motor es necesario realizar las siguientes ecuaciones:

1.- Determinar la superficie en cada cilindro del motor. (Sc)

$$Sc = \pi \times D \times L. \quad (1)$$

Donde:

π- constante

D- diámetro

L- carrera del pistón

2.- Determinar la superficie de la cámara de combustión y de la cabeza del pistón. (Scc)

$$Scc = \pi \times D \times K \quad (2)$$

Donde:

D- diámetro de los cilindros

K- Coeficiente adimensional que tiene en cuenta la rugosidad y deformación de la cabeza del pistón y la cámara de combustión y que tiene el valor de 1,2.

$\Pi$ - constante.

3.- Determinar la superficie total del cilindro y de la cámara de combustión con la cabeza del pistón. (St)

$$St = Sc + Scc \quad (3)$$

4.- Determinar la cantidad de aceite necesaria para conservar cada cilindro. (CAc)

$$CAc = St \times CAN. \quad (4)$$

5.- Determinar la cantidad total de aceite necesaria para conservar un motor. (CAT)

$$CAT = CAc \times Nc. \quad (5)$$

Donde:



Nc – número de cilindros del motor.

### 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 NC-ISO 8501-1: 2008, es 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.

Se pueden observar serios problemas de preparación superficial antes de aplicar los sistemas de pinturas como muestran las figuras 2.6 y 2.7.

	
Figura 2.6 Intercambiador de calor.	Figura 2.7 Tuberías

## **2.4) 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  $0,4 \text{ m}^3$ , 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 5a), medida para un período 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 el medioambiente. En el (Anexo 5b) 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. 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 2.1 se recogen los valores guía de la temperatura del agua caliente en la torre de saturación para diferentes presiones.

Tabla 2.1: 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)
70	45	61
84	46	63
98	48	64
112	49	66
126	50	67
140	52	69

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 × 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  $[(NH_4)_2HC_6H_5O_7]$  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 2.2.

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 hexametenotetramina, como inhibidor de la corrosión.

Tabla 2.2: 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 $g/m^2$	Pérdida de masa admisible de las probetas de referencia de acero $g/m^2$
NSS	48	50±25	70±20 (apartado 5.2.4)
AASS	24	30±15	40±10 (apartado 5.3.4)
CASS	24	50±20	55±15 (apartado 5.4.4)

## **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) Las probetas debe ser planas y colocadas en la cámara formando un ángulo respecto a la vertical lo más próximo posible a los  $20^\circ$ .
- 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 deben verificar las condiciones de ensayo en la cámara. Una vez que se 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 período de exposición deseado es de 500 horas.

La pulverización debe ser continua para toda la duración del período 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 período de ensayo, 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 tales como:

- 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 un ciclo de 100 horas con una exigencia de 500 horas sin afectaciones.

En nuestro caso, la Grasa Semisólida DISTIN 314 y el Mástique Asfáltico DISTIN 404, pasaron la prueba sin afectaciones. Estos ensayos se realizaron por el Laboratorio LABET.

Este resultado corrobora que el recubrimiento formado proporciona una protección temporal por años de las superficies metálicas 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.

## **2.5) 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 NC-ISO 6270: 2006 es de 40 °C.

En la tabla del Anexo 6a 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**

Este dispositivo debe ser de un material que no provoque la corrosión de la probeta.

#### **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 los 60 °C para evitar una excesiva formación de vapor. El Anexo 6b 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 período 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 Semisólida DISTIN 314, el aceite de conservación DISTIN 318, el Mástique Asfáltico DISTIN 404, las disoluciones de fosfatado DISTIN 504, 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 por años, de las superficies metálicas 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.

### **Conclusiones Parciales del Capítulo.**

1. La selección correcta de los materiales es un factor muy importante a la hora de construir un equipo para un fin determinado, así como para disminuir los efectos de la corrosión.
2. Los problemas de diseño anticorrosivo unido a los efectos de los contaminantes que se producen durante la combustión, son la principal causa de los problemas de corrosión que se presentan en el motor MTU-4000.
3. La solución de los problemas de corrosión detectados, requieren de conocimientos sobre cómo eliminar los problemas de diseños anticorrosivos, preparación superficial y de los métodos de protección que deben ser aplicados.
4. El área con menos problemas de diseño anticorrosivo es la del grupo cilindro-pistón, sin embargo es la más vulnerable a la corrosión, provocando serios problemas cuando el motor está detenido.
5. Todos los productos DISTIN que fueron evaluados por los laboratorios LABET pasaron las pruebas de los ensayos en la cámara de niebla salina y la de temperatura y humedad constante, de forma satisfactoria.

## **Capítulo III: Propuesta de un sistema de protección anticorrosiva y conservación. Análisis de resultados.**

En este capítulo se aborda lo referente a las soluciones de los problemas de diseño anticorrosivo presentes en los motores de la Central Eléctrica, así como los materiales y métodos, que son empleados en la propuesta del Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC). Además se realiza un análisis de los resultados tanto técnicos como económicos.

### **3.1) Materiales y Métodos**

Los materiales que se utilizarán para conformar la tecnología del Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC) del motor son los siguientes:

- Disolución de Fosfatado Decapante de Acción Rápida DISTIN 504.
- Mástique Asfáltico Semisólido DISTIN 404.
- Grasa Semisólida DISTIN 314.
- Aceite de conservación DISTIN 318.
- Pintura.
- Papel parafina.
- Manta de polietileno.
- Lona protectora.

### **3.2) Propuesta de la tecnología para un sistema de protección anticorrosiva y conservación.**

Las (NC-ISO 12944. 3:2007, NC-ISO 12944. (1-2-5):2008, NC-ISO 12944. 6:2009, NC-ISO 12944. (4-7-8):2014 resultan ser los documentos publicados más completos sobre los sistemas de protección anticorrosiva y conservación, aunque tienen varias insuficiencias.

Las Normas, 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.

La Norma NC-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 atmosférica.

El Centro de Anticorrosivos y Tensoactivos, 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 NC-ISO 12944: 2:2008 se establece la clasificación de la atmósfera, además nos podemos guiar por el Mapa de Agresividad Corrosiva de la República de Cuba. 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 aplican y el tiempo en que resultan efectivos los mismos.

En trabajos realizados en el polo turístico de Varadero se llega a la conclusión de 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 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, 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.**

La Norma NC-ISO 12944: 3:2007 aborda los problemas de diseño en la protección anticorrosiva con pinturas, pero ésta aún es insuficiente en las soluciones que propone. Seguidamente veremos las soluciones que se sugieren en el sistema propuesto.

- **Orificios o resquicios:** En este caso se recomiendan las llamadas uniones blandas, es decir, preparar la superficie, pintar, colocar mástique asfáltico semisólido DISTIN 404, una vez montada, se corta el sobrante.
- **Zonas de acumulación y depósitos:** La forma de atenuar su efecto una vez creadas es produciendo superficies inclinadas mediante la aplicación de Mástique Asfáltico Semisólido DISTIN 404.
- **Uniones con pernos:** La solución es preparar la superficie de los pernos, tuercas y arandelas, pintarlos y después colocarlos con mástique asfáltico semisólido DISTIN 404 para rellenar los orificios que quedan. Una vez que se produzca el apriete, se pintan nuevamente.
- **Par metálico:** La solución es evitar la unión de metales de diferente naturaleza y de realizarse, tratar de aislar ambos metales con aceite de conservación DISTIN 318.

### **3.2.3) Propuesta de la tecnología para un sistema de protección anticorrosiva del motor MTU-4000.**

Con la propuesta de protección anticorrosiva del motor MTU-4000 se pretende:

- Una eficiente tecnología para evitar averías en el motor fuera de servicio por un período mayor de un mes.
- Que el sistema de protección propuesto permita una rápida reincorporación en servicio del grupo electrógeno.
- Conservar el motor MTU-4000 por un período de corto plazo (hasta un año) a través de la conservación del grupo cilindro- pistón y de la protección de las áreas exteriores llevadas a cabo en la tecnología propuesta.

Los motores presentan problemas en el funcionamiento en el momento del arranque, debido a paradas prolongadas, por lo que se reportan motores trancados ya que a los 15 días empiezan los problemas de corrosión.

Para la conservación de los motores MTU-4000 por un período de hasta un año

en primer lugar se le realiza un diagnóstico detallado de la situación que presenta el motor eliminando sus posibles desperfectos.

A continuación se procede a cumplir con un mantenimiento de los agregados y sistemas que componen el motor, según lo establece el fabricante para ese período de explotación, es decir, teniendo en cuenta las horas de funcionamiento. Se cambian los aceites y grasas, se limpian los filtros si es necesario, de tal forma que cuando sea necesario el arranque y puesta en funcionamiento esté listo para cumplir perfectamente su cometido.

Después de realizar el mantenimiento preventivo se procede a realizar el arranque y debe funcionar hasta alcanzar la temperatura de trabajo, después debe continuar durante 5 minutos más.

A partir de ese momento se preparan todas las condiciones de trabajo dentro del contenedor para realizar el proceso de conservación del motor.

En los posteriores epígrafes se detalla la tecnología para conservar el grupo cilindro-pistón y las áreas exteriores del motor MTU-4000 a corto plazo.

### **3.2.3.1) Propuesta de la tecnología para un sistema de protección anticorrosiva del grupo cilindro- pistón.**

La parte más vulnerable a la corrosión es la unión de los aros con la camisa. Por lo tanto aquí es donde se necesita primeramente proteger. Si analizamos otros agregados y sistemas del motor apreciamos que el sistema de lubricación por todo su recorrido se emplea el aceite elaborado específicamente para lubricar y mantener una elevada protección anticorrosiva en los elementos del mecanismo de distribución de los gases, en el árbol de levas, en el cigüeñal y otros.

Para el sistema de alimentación por combustible la experiencia demuestra que para el período de tiempo que proponemos mantener conservado el motor no se necesita realizar trabajos extras en las bombas de combustibles, solo tiene que tener combustible fresco y completamente limpio, además todos los depósitos y agregados deben tener el máximo del nivel reglamentado.

El interior del contenedor debe tener creadas las condiciones de trabajo para realizar la conservación del motor, para esto se debe contar con todas las herramientas reglamentarias establecida por el fabricante para el trabajo de

mantenimiento y de reparación.

Después que se logró obtener la temperatura de trabajo del motor se procede a retirar la tapa de cada cabezal (figura 3.1) y a extraer los inyectores de todos los cilindros, utilizando para ellos las indicaciones y cartas tecnológicas u operacionales que establece el fabricante con las herramientas específicas que se emplean, para esta actividad se necesita además personal técnico calificado en estas operaciones para evitar que ocurra alguna avería o rotura.



Figura 3.1 Motor MTU-4000.

A partir de ese momento se pone el pistón del 1er cilindro(A1) en el punto muerto inferior (PMI), el orden de trabajo de los cilindros del motor es A1-A7-B4-B6-A4-B8-A2-A8-B3-B5-A3-A5-B2-A6-B1-B7 y se verifican todos los cilindros con una varilla de control, para determinar los otros pistones que se encuentren en el PMI o por el orden de trabajo de los pistones del motor (figura 3.2).

## ORDEN DE TRABAJO DE LOS PISTONES DEL MOTOR MTU Serie 4000

A1-A7-B4-B6-A4-B8-A2-A8-B3-B5-A3-A5-B2-A6-B1-B7

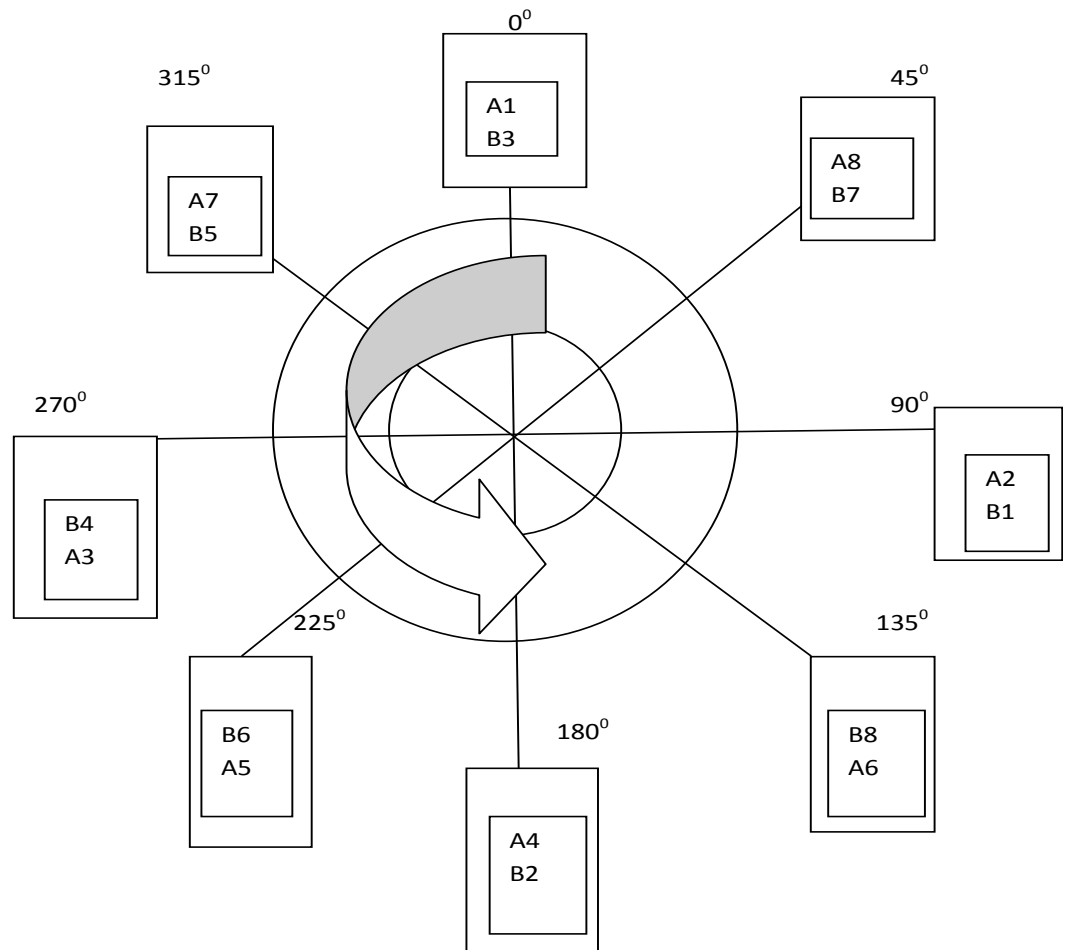


Figura 3.2: Orden de trabajo de los pistones.

El técnico encargado de la operación con una probeta graduada y un embudo le agrega 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro donde los pistones están en el PMI (A1-B3), marcando con una tiza cada pistón donde agregó el aceite. Este aceite debe estar en depósitos sellados con certificado de calidad y garantía por lo que debe tomar todas las medidas para no contaminarlo.

Posteriormente el técnico con la llave especial hace girar el cigüeñal del motor 45°



en dirección contraria a las manecillas del reloj es decir  $315^{\circ}$  y realiza una marca con tiza. El técnico vuelve a repetir las operaciones de verificación de los pistones que están en el PMI (A7-B5) y no han recibido aceite repitiendo la acción con la misma dosis de aceite de conservación. Esto se repite a 270, 225, 180, 135,90 y 45 grados.

Seguidamente el operario utilizando el motor de arranque del motor procede a hacer girar el cigüeñal 5 vueltas, espera 20 segundos y repite la operación de giro. Para esto la bomba eléctrica de alta presión debe de estar desconectada.

Posteriormente se repiten todas las operaciones anteriormente señaladas cada 45 grados hacia la izquierda del cigüeñal añadiendo los 267,6 ml en cada cilindro. El técnico verifica detenidamente que los 16 cilindros hayan recibido el aceite de conservación y se le dan 5 vueltas al cigüeñal con el motor de arranque en dos ocasiones con 20 segundos de receso entre cada ocasión. Para evitar un golpe hidráulico en los cilindros del motor, precisar que no quede aceite acumulado dentro del mismo.

A partir de ese momento se inicia el proceso de montaje, se instalan los inyectores, sus tapas y se procede a hermetizar el tubo de escape con una manta de lienzo impregnada con grasa DISTIN 314, cubriéndolo posteriormente con una manta de nylon fijando fuertemente al metal con una cinta adhesiva. Posteriormente el nylon se cubre con una lona para evitar la influencia del sol y los rayos ultravioletas. Hay que lograr una hermetización total y no permitir la entrada de aire contaminado por el tubo de escape (figura 3.3).



Figura 3.3 Tubo de escape.

Pasamos entonces al interior del contenedor se retiran los 4 purificadores de aire, (figura 3.4) y sobre el tubo se coloca la manta de nylon que impida el paso del aire contaminado al múltiple de admisión, se vuelve a colocar sobre este el purificador de aire y se asegura con la cinta metálica que tiene este dispositivo. Se sellan con nylon o con lienzo impregnado en DISTIN 314.



De esta manera queda conservado el motor por un período hasta un año. Como garantía se firma un protocolo de las operaciones realizadas por el personal participante ejecutor y verificador. Se precintan los depósitos de combustible y de aceite y el líquido refrigerante debe estar en el nivel máximo.

Para este tipo de conservación el contenedor se hermetiza y se verifica ocasionalmente que la humedad relativa se encuentre entre un 40 y 70 % de humedad relativa interior. Se debe cubrir la parte superior de los ventiladores para evitar la entrada de lluvia y así poder evitar el incremento de la humedad.

### **3.2.3.2) Propuesta de la tecnología para un sistema de protección anticorrosiva de las áreas exteriores del motor MTU-4000.**

La tecnología para un sistema de protección anticorrosiva de las áreas exteriores del motor MTU-4000 se fundamenta en el trabajo de la aplicación de las normas cubanas en todos sus aspectos, complementándolas 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.
- Preparar previamente la superficie, incluyendo los tratamientos manuales mecanizados y las disoluciones de fosfatado.
- Seleccionar y aplicar el sistema de pintura adecuado.
- Aplicar los productos DISTIN, los 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.

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 la Central Eléctrica Diesel MTU serie 4000 de Varadero se encuentra en un ambiente agresivo, la preparación superficial de las áreas exteriores del motor 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.

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

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

St2, por lo que después es necesario aplicar la Disolución de Fosfatado Decapante DISTIN 504 o la Disolución de Fosfatado No Decapante DISTIN 505 dependiendo del estado inicial de la superficie y del resultado deseado, para lograr un acabado similar al Sa 2 1/2, 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, 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.

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

Para la selección del sistema de pintura adecuado hay que tener en cuenta lo establecido en la Norma NC-ISO 12944: 5:2008, 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 de agresividad corrosiva de la atmósfera, en nuestro caso es C4, además hay que tener en cuenta el tiempo de duración del sistema de pintura.

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 las áreas exteriores del motor MTU-4000 como primario una Imprimación Antitérmica 164E0 y como acabado Hempel's 565E0.

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 adquiere la pintura hasta que se haya obtenido el espesor final del recubrimiento.

### 3.3) Análisis de los resultados técnicos.

A través del examen endoscópico se determinaron los siguientes resultados antes de la conservación:

- Presencia de revestimiento de carbono fino en el anillo rascador de carbono. Esta presencia de carbono provoca serios problemas de corrosión, unido a otros factores que la aceleran.
  - Áreas lisas localizadas en el borde inferior.
  - Depósitos de carbón en toda la circunferencia entre el anillo superior del pistón y el borde inferior del anillo rascador de carbono. Los depósitos de carbón en toda la circunferencia entre el anillo superior del pistón y el borde inferior del anillo rascador de carbono influyen gravemente en el proceso de corrosión, debido a que se crea una capa de óxido entre los anillos de pistón y la camisa, provocando que quede detenido el motor al estar fuera de servicio.
  - Primeros signos de marcas dejadas por el anillo superior del pistón.
  - Marcas brillantes en toda la circunferencia.
  - Primeros signos de marcas dejadas por los agujeros de enfriamiento más bajos.
- Áreas más oscuras de intensidad de color uniforme o variable:
- El inicio y el final de la decoloración no están definidos de forma precisa y no cubren el área de carrera completa.
  - Los anillos de pistón no presentan roturas.



Figura 3.5 Examen endoscópico antes de la conservación.

A través del examen endoscópico se determinaron los siguientes resultados después de la conservación:

- Presencia de aceite DISTIN 318 en cada cilindro. La presencia de aceite DISTIN 318 en cada cilindro protege al grupo cilindro-pistón, permitiendo su movimiento a la hora del arranque del motor para poner en marcha al grupo electrógeno.
- Áreas lisas localizadas en el borde inferior cubiertas con aceite.
- Signos de marcas dejadas por el anillo superior del pistón cubiertas con aceite.
- No hay marcas brillantes en toda la circunferencia.
- No hay signos de marcas dejadas por los agujeros de enfriamiento más bajos cubiertos con aceite.

### 3.3.1) Carta operacional para la conservación del motor MTU-4000.

Tabla 3.1 Carta operacional para la conservación del motor MTU-4000.

No	Contenido de las operaciones tecnológicas	Equipos, dispositivos y herramientas	Materiales y productos	Observaciones
1	Verificación y diagnóstico general.	Endoscopio, cámara fotográfica digital, lámpara de verificación.		Que los datos se correspondan con el manual MTU.
2	Realizar mantenimiento de turno.	No se hace.		
3	Realizar el arranque del motor hasta que alcance la temperatura de trabajo. Mantenerlo funcionando a temperatura de trabajo por 5 minutos.	Se hace manual.		Hasta que alcance la temperatura de trabajo.
4	Detener el motor y preparar las condiciones para su conservación en el contenedor.	Se hace manual.		Detención del motor.
5	Retirar las tapas de las culatas.	Juegos de herramientas.		Debe ser un especialista. Según carta operacional del motor MTU.
6	Retirar los inyectores.	Juegos de herramientas.		Debe ser un especialista.

				Según carta operacional del motor MTU.
7	Poner el pistón A-1 en PMI (0°).	Dispositivo de giro.		Que el pistón A 1esté en PMI (0°).
8	Revisar y señalar todos los pistones que están en PMI en esa posición del cigüeñal.	De manera visual.		Debe ser un especialista.
9	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI A1-B3.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Debe ser un especialista.
10	Girar el cigüeñal del motor en dirección contraria a las manecillas del reloj con el dispositivo a 315° A7-B5.	Dispositivo de giro.		Cilindros A7-B5.
11	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Debe ser un especialista.
12	Girar el cigüeñal del motor en dirección contraria a las manecillas del reloj con el dispositivo a 270°	Dispositivo de giro.		
13	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI B4-A3.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Cilindros B4-A3
14	Girar el cigüeñal del motor en dirección contraria a las manecillas del reloj con el dispositivo a 225°.	Dispositivo de giro.		
15	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI B6-A5.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Cilindros B6-A5
16	Girar el cigüeñal del motor en dirección contraria a las manecillas del reloj con el dispositivo a 180°.	Dispositivo de giro.		

17	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI A4-B2.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Cilindros A4-B2
18	Girar el cigüeñal del motor en dirección contraria a las manecillas del reloj con el dispositivo a 135°.	Dispositivo de giro.		
19	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI B8-A6.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Cilindros B8-A6
20	Girar el cigüeñal del motor en dirección contraria a las manecillas del reloj con el dispositivo a 90°.	Dispositivo de giro.		
21	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI A2-B1.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Cilindros A2-B1
22	Girar el cigüeñal del motor en dirección contraria a las manecillas del reloj con el dispositivo a 45°.	Dispositivo de giro.		
23	Añadir 267,6 ml de aceite DISTIN 318 en cada cilindro marcado en PMI A8-B7.	Probeta graduada y embudo.	DISTIN 318	Cilindros A8-B7
24	Verificar por las marcas realizadas que los 16 cilindros recibieron aceite DISTIN 318.	Se hace visual.		Que los 16 cilindros recibieron aceite DISTIN 318
25	Dar 5 vueltas de giro al cigüeñal con el motor de arranque y esperar 20 segundos.	Se hace manual.		Tiene que estar desconectada la bomba eléctrica de alta presión.
26	Dar 5 vueltas más al cigüeñal del motor.	Se hace manual.		Tiene que estar desconectada la bomba de alta presión.
27	Repetir las operaciones añadiendo 267,6 ml más a todos los cilindros	Según operaciones.	DISTIN 318	Todas las anteriores.



	del motor cumpliendo los puntos del 9 al 23.			
28	Proceder al montaje de los inyectores.	Carta operacional MTU y herramientas.		Debe quedar según las exigencias de la Carta operacional.
29	Montar las tapas de las culatas del motor.	Carta operacional MTU y herramientas.		Debe quedar según las exigencias de la Carta operacional.
30	Hermetizar la salida del tubo de escape.	Se hace manual.	Manta de lienzo con aceite DISTIN 314, manta de nylon, cinta adhesiva y lona protectora.	No debe permitir la entrada de aire contaminado a través del tubo de escape.
31	Hermetizar las entradas de los purificadores de aire.	Se hace manual. Herramientas.	Manta de nylon.	Ajustar bien la cinta del purificador a la hora del montaje.
32	Hermetizar válvulas de desaireación del motor (respiros).	Se hace manual.	Manta de nylon.	No debe permitir la entrada de aire contaminado a través de las válvulas de desaireación.
33	Retirar las baterías de acumuladores del contenedor.			Opcional.
34	Si es necesario realizar el SIPAYC al contenedor			Opcional.
35	Cerrar herméticamente el contenedor.	Se hace manual.		No permitir entrada de contaminantes.

**3.4) Resultados obtenidos en la determinación de la cantidad de aceite necesario para conservar el grupo cilindro-pistón del motor DETROIT MTU Serie 4000.**

Tabla 3.2. Resultado del consumo de aceite a diferentes temperaturas.

N/o	Superficie de la probeta en (mm <sup>2</sup> )	Temperatura	Consumo de aceite total ml	Consumo de aceite necesario (CAN)en (ml por mm <sup>2</sup> )
1	77,225	63	0,20850	0,0027
2	77,225	61	0,21623	0,0028
3	77,225	67	0,20078	0,0026
4	77,225	63	0,20850	0,0027
	<b>PROMEDIO</b>	<b>63,50</b>	<b>0,20850</b>	<b>0,0027</b>

Por lo tanto el consumo de aceite necesario para el recubrimiento de cada mm<sup>2</sup>a la temperatura 60-70 °C es de 0,0027 ml.

Para la determinación del aceite de conservación que se consume en cada cilindro del motor se utilizaron las ecuaciones descritas en el capítulo anterior:

1.- Determinación de la superficie en cada cilindro del motor. (Sc)

$$Sc = \pi \times D \times L. \quad (1)$$

$$Sc = 98\,488,9297 \text{ mm}^2$$

Donde:

$$\pi - \text{constante} = 3,14159265$$

$$D - \text{diámetro} = 165 \text{ mm}$$

$$L - \text{carrera del pistón} = 190 \text{ mm}$$

2.- Determinación de la superficie de la cámara de combustión incluyendo la cabeza del pistón. (Scc)

$$Scc = \pi \times D \times K \quad (2)$$

$$Scc = 622,035345 \text{ mm}^2$$

Donde:

$$D - \text{diámetro de los cilindros} = 165 \text{ mm}$$

K- Coeficiente adimensional que tiene en cuenta la rugosidad y deformación de la cabeza del pistón y la cámara de combustión y que tiene el valor de 1,2.

$\Pi$ - constante=3,14159265

3.- Determinación de la superficie total del cilindro y de la cámara de combustión incluyendo la cabeza del pistón por la suma de 1 y 2. (St)

$$St = Sc + Scc \quad (3)$$

$$St = 98\,488,9297 \text{ mm}^2 + 622,035345 \text{ mm}^2$$

$$St = 99\,110,965 \text{ mm}^2$$

4.- Determinación de la cantidad de aceite necesaria para conservar cada cilindro. (Cac)

$$Cac = St \times CAN. \quad (4)$$

$$Cac = 99\,110,965 \text{ mm}^2 \times 0,0027 \text{ ml}$$

$$Cac = 267,5996 \text{ ml}$$

5.- Determinación de la cantidad total de aceite necesaria para conservar un motor. (CAT)

$$CAT = Cac \times Nc. \quad (5)$$

$$CAT = 267,5996 \text{ ml} \times 16.$$

$$CAT = 4\,281,5936 \text{ ml}$$

$$CAT = 4L$$

Donde:

Nc- número de cilindros del motor=16

Tabla 3.3. Cantidad de aceite necesaria para la conservación de los cilindros del motor MTU-4000.

N/o	Motor	Cantidad de cilindros	Diámetro de los Cilindros. (mm)	Carrera del Pistón (mm)	Cantidad de aceite por cilindro.(ml)	Cantidad total de aceite para el motor.(ml)
1	<b>DETROIT MTU serie 4000</b>	<b>16</b>	<b>165</b>	<b>190</b>	<b>267,6</b>	<b>4 281, 6</b>

### 3.5) Algunos resultados económicos esperados.

La Dirección Nacional de Generación Distribuida, aprobó como método de conservación de los motores de Grupos Electrógenos Diesel, el método de "Conservación en Caliente", que consiste en arrancar semanalmente cada motor

en conservación de 10 a 15 minutos. Esta conservación se propone para los motores cuando éstos estén detenidos por un período superior a los 15 días.

En el presente trabajo de acuerdo con las investigaciones realizadas y la experiencia de trabajo de especialistas del CEAT, se propone la “Conservación en Frío”, que se aplicaría en todo motor en conservación por un período de 15 días a un año, trayendo consigo un ahorro para la Central Eléctrica.

El ahorro económico está dado por que el motor MTU Serie 4000 se mantiene detenido durante todo el año, por lo tanto no gasta combustibles y lubricantes, no existe deterioro, ni desgastes en mecanismos y sistemas por causa de la explotación, solamente en los costos de la conservación que son los siguientes que aparecen en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Costos de la conservación de un motor MTU-4000.

Materiales	UM	CU CUP	CU CUC	Consumo	CT CUP	CT CUC
DISTIN 314	kg.	1,10	0,60	2	2,20	1,20
DISTIN 318	L	1,10	0,60	4	4,40	2,40
DISTIN 504	L	2,10	0,50	2	4,20	1,00
DISTIN 404	kg.	2,04	0,65	2	4,08	1,3
PINTURA	L	7,60	4,20	2	7,60	4,20
PAPEL PARAF.	m <sup>2</sup>	-	0,65	2	-	1,30
POLIETILENO	m <sup>2</sup>		1,20	2		2,40
LONA	m <sup>2</sup>		0,51	1		0,51
TOTAL					22,48	14,31

Como podemos apreciar los costos totales para conservar un motor MTU-4000 a corto plazo son de 22,48 CUP y 14,31 CUC.

En la actualidad el costo para mantener un motor MTU-4000 con arranque periódico establece un gasto elevado en combustible, ya que es imprescindible arrancar el motor tres veces en el mes por un período de 20 minutos, lo que

conlleva al gasto de 12 motohoras anuales. Es válido señalar que un motor generador tiene 9 000 motohoras de tiempo de vida.

El costo de una motohora está dado fundamentalmente por:

1. Desgaste de agregados y mecanismos.
2. Consumo de combustibles y lubricantes.

Los costos por desgaste de agregados en una motohora no son más que la división de lo que cuesta un motor generador y las motohoras que tiene el mismo, en este caso sería la división entre 350 000 CUC y 9 000 lo que equivale a 38,88 CUC.

Los consumos de combustibles y lubricantes están calculados por las normas de consumo que establece el fabricante para este tipo de motor y que es igual a 28 litros de combustible Diesel por hora más un 10 % de aceite que es igual a 2,8 litros.

En correspondencia con los precios establecidos el precio total será igual a \$ 40,00 CUC.

Por lo tanto el costo de una motohora de un motor MTU-4000 es igual a \$ 78,88 CUC.

El ahorro con la implantación de la conservación a corto plazo del motor MTU en una motohora es igual a \$ 64,57 CUC, que no es más que el costo de una motohora, menos lo que cuestan los productos para la conservación.

Por otro lado el ahorro anual que no es más que la multiplicación del costo de una motohora por los doce meses, menos el costo de los productos para la conservación, alcanza la cifra de \$ 932,25 CUC en cada motor generador conservado.

Como podemos apreciar desde el punto de vista económico, la factibilidad de conservación de los motores MTU queda demostrada con un ahorro de \$932,25 CUC anual por motor en comparación con el arranque periódico de los motores.

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

1. Las (NC-ISO 12944. 3:2007, NC-ISO 12944. (1-2-5):2008, NC-ISO 12944. 6:2009, NC-ISO 12944. (4-7-8):2014. 8:2014y NC-ISO 11303: 2009 aunque son los únicos documentos que más abarcan la solución a los problemas de diseños anticorrosivos, son insuficientes y pueden ser mejoradas con el enfoque en sistema del presente trabajo.
2. Se presenta una tecnología para la conservación a corto plazo de los motores MTU-4000, que permite proteger contra la corrosión al grupo cilindro-pistón, así como sus áreas exteriores por un período hasta un año.
3. La endoscopía realizada permitió obtener resultados antes de la conservación del motor y después de realizada.
4. Para la conservación del grupo cilindro-pistón del motor DETROIT MTU Serie 4000 se necesitan aproximadamente 4L de aceite.
5. Como podemos apreciar desde el punto de vista económico la factibilidad de conservación de los motores MTU queda demostrada con un ahorro de \$ 932,25 CUC anual por motor en comparación con el arranque periódico de los motores.
6. En el presente trabajo se expone una tecnología para un sistema de protección anticorrosiva que de aplicarse permitiría un considerable ahorro a la UNE y al país en general.

## **Conclusiones.**

1. La fundamentación de una adecuada tecnología mediante un sistema de protección anticorrosiva y conservación para el motor MTU Serie 4000, permite evitar que el motor detenido sufra una avería y cumplir la hipótesis planteada.
2. Con el análisis realizado se demuestra que las normas ISO 12944-3, 2007 y NC-ISO 11303. 2009, son insuficientes en el tratamiento de los problemas de diseño anticorrosivo y de corrosión, porque en la mayoría de los casos no precisa la protección anticorrosiva adicional que se requiere.
3. La tecnología de protección anticorrosiva y conservación que se fundamenta, justifica el empleo de los productos DISTIN en la preservación del grupo cilindro-pistón y de las áreas exteriores del motor.
4. Se reporta un ahorro por hora de trabajo del motor, de \$ 65,08 CUC por la “Conservación en Frío” propuesta versus “Conservación en Caliente”, obteniéndose un ahorro anual de \$ 932,25 CUC.

## **Recomendaciones.**

1. Aplicar y generalizar las tecnologías de protección anticorrosiva y conservación propuesta, para los motores de estas instalaciones eléctricas.
2. Atender el control de la aplicación de todos los pasos para la implantación de las tecnologías de protección anticorrosiva y conservación.
3. Impartir un curso de superación al personal encargado de la actividad de mantenimiento del motor MTU-4000 de la Central Eléctrica de Varadero.



## Bibliografía.

1. Aballe, Y. 2016. Propuesta de solución para el proceso corrosivo en el tanque de Residuales 7 en la UEB Producción de la EPEP-Centro, Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.
2. 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.
3. Álvarez, Y. 2014 “Estudio Técnico - Económico de la propuesta de solución a los problemas de corrosión en La Central Eléctrica DIESEL MTU serie 4000”, Tesis en opción al Título de Ingeniero Químico.
4. Biezna, M., San Cristóbal, J. 2005. Methodology to study cost of corrosion. *Corrosion Engineering, Science and Technology* **40**(4): 344-352.
5. 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.
6. Dominguez, J. A. *et al.* 2010. Introducción a la corrosión y protección de metales. Edición ENPES. MES. La Habana, Cuba. 222-555 p
7. 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.
8. Echeverría, C.A. et al. 2005. El deterioro por corrosión de instalaciones turísticas. *Retos Turísticos* **3**(2): 21-30.
9. 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.

10. Echeverría, C.A. et al. 2010. Los sistemas de protección anticorrosiva y conservación (SIPAYC) y sus aplicaciones. CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 978-959-16-0632-7.
11. 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
12. 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).
13. Echeverría, M. et al. 2009. Influencia del diseño en la protección anticorrosiva en condiciones climáticas de Cuba. Revista Tecnología Química Vol. XXIX, No. 1.
14. Echeverría, M. et al. 2015. Unraveling sulfur compounds origin in marine zones by using the chloride/sulfate ratio. Applications in atmospheric corrosion studies. Corrosion Engineering, Science and Technology **38**(2): 129-134
15. 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.
16. Fragata, F. et al. 2006. Compatibility and incompatibility in anticorrosive painting. The particular case of maintenance painting. Progress in Organic Coatings **56**: 257–268.
17. Gil, L. 2011. Corrosión en la industria del petróleo y el uso de tecnologías de recubrimientos como alternativa de protección. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Centro de Estudios de Corrosión de la Universidad Nacional Experimental Politécnica -UNEXPO, Vicerrectorado de Puerto Ordaz.
18. 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.
19. González, A. 2011. Contribución a la disminución del deterioro por corrosión de una Central Eléctrica Diesel MTU Serie 4000. Tesis en Opción al Título de Máster en Ciencias de Ingeniería Química. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
  20. González, A. 2013 "Influencia del diseño anticorrosivo en el deterioro por corrosión en el grupo electrónico del hotel Princesa del Mar" Revista Retos Turísticos. Vol.12, num.2. ISSN:2224-7947.
  21. González, A. 2014 "Propuesta de soluciones a los problemas de diseño anticorrosivo y de corrosión del grupo electrónico del hotel Punta Arena" Revista Retos Turísticos. Vol.13.num.1. ISSN:2224-7947
  22. González, A. et al. 2015 et al (a). Influencia del diseño anticorrosivo en la protección anticorrosiva del área de combustibles de una Central Eléctrica Diesel MTU SERIE 4000. RTQ, May. 2015, vol.35, no.2, p.193-207. ISSN 2224-6185
  23. González, A. et al. 2015, et al (b). Influencia de los problemas de diseño anticorrosivo en el posible deterioro por corrosión en los grupos electrógenos del polo turístico de Varadero. Retos Turísticos. Vol. 14, No 2, 2015 ISSN 2224-7947.
  24. Guerra, C.H.2014 "Estudio de la corrosión atmosférica sobre dos tipos de acero de bajo carbono en instalaciones industriales petroleras cercanas al mar en el noroeste del Perú" Tesis para optar el grado académico de master en química con mención en fisicoquímica.
  25. ISO 9223. 2005. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification.
  26. ISO 9227: 2007. Ensayos de Corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.
  27. 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.

28. López, D. 2009. Estudio para la implementación del sistema de gestión de mantenimiento basado en la fiabilidad operacional y energética en los grupos electrógenos modelo MTU serie 4000. Tesis presentada en opción al grado científico de máster en termoenergética industrial. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
29. Méndez, O. 2012. Sistema de Protección Anticorrosivo y Conservación "SIPAYC" del Auto rural UAZ-469 CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 978-959-16-0654-3.
30. Mercedes, Y. 2015. Propuesta de Tecnologías de Protección Anticorrosiva y Conservación del área de Combustible de la Central Eléctrica Diesel MTU Varadero. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.
31. Molina, JD, *et. al.*, 2011" *Atmospheric corrosion revenue in Colombian transmission system*" Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N° 59 pp. 257-266
32. NC ISO 12 944-1. 2008. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 1: Introducción general.
33. NC ISO 12 944-2. 2008. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes.
34. NC ISO 12 944-3. 2007. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 3: Consideraciones sobre el diseño.
35. NC ISO 12 944-4. 2014. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Part4: Tipos y preparación de superficies.
36. NC ISO 12 944-5. 2008. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 5: Sistemas de pinturas protectores.

37. NC ISO 12 944-8. 2014. 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.
38. NC 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.
39. NC 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.
40. NC ISO 11303. 2009. Corrosión de metales y aleaciones. Directrices para la selección de métodos de protección contra la corrosión atmosférica.
41. Núñez, C.A. 2014. Propuesta de un Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación de un área de contra incendio en la Base de Supertanquero de Matanzas. Tesina del diplomado de corrosión.
42. Oquendo, C. 2015. Propuesta de Tecnologías de Protección Anticorrosiva y Conservación del área de Generación de la Central Eléctrica Diesel MTU Varadero. CD Monografías. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 978-959-16-0654-3.
43. Paradela, Y. 2011. Propuesta de Sistema de Mantenimiento de Protección Anticorrosiva y Conservación para el Área de Motores y Unidad de Tratamiento de Combustible de La Central Eléctrica de Agramonte. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico
44. Pierre, R. (2007). Handbook of Corrosion Engineering. New York. United State
45. Ochoa et al. (2005). *Pinturas anticorrosivas*. Habana, Empresa Nacional de Pinturas.

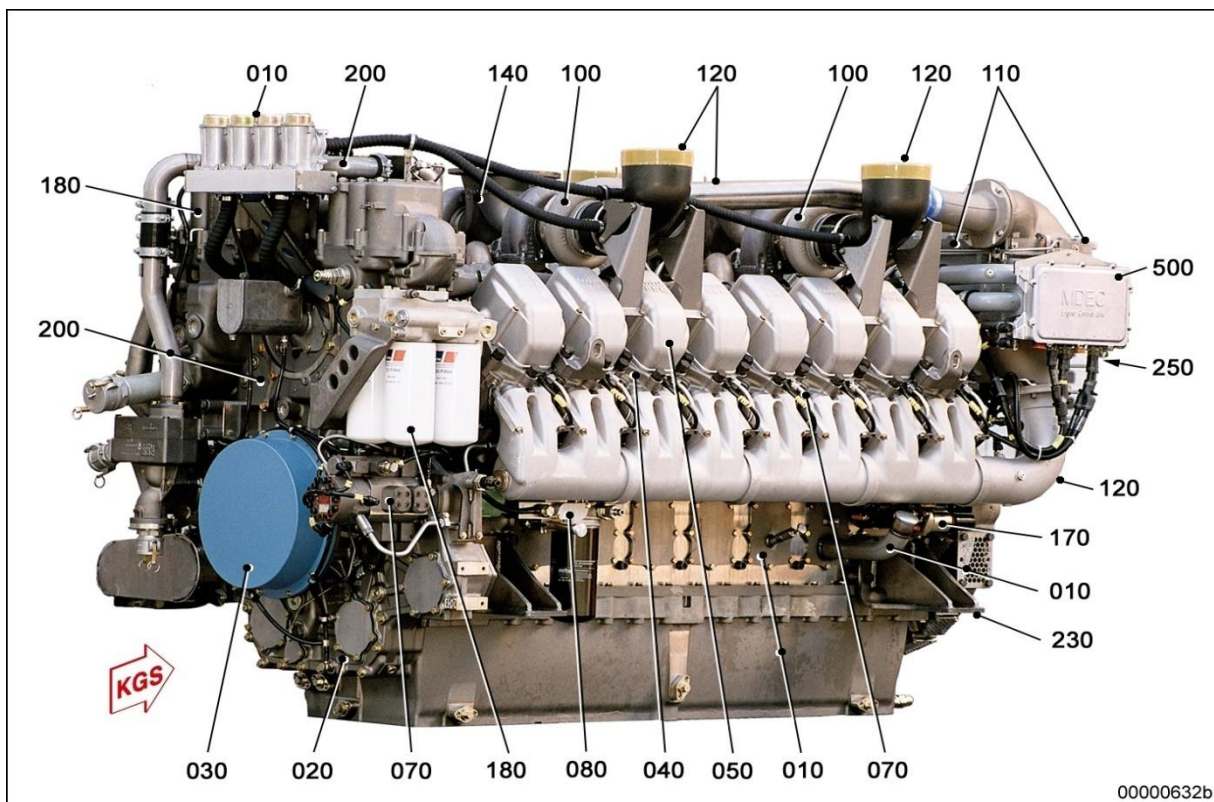
46. Rodriguez, M.T. 2004. Formulación y evaluación de imprimaciones epoxis anticorrosivas curables a temperatura ambiente. Departamento de Ciencias Experimentales. Castellón, Universitat Jaume I. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas: 251.
47. Samoilova, O.V., Zamyatina, 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.
48. 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.
49. Shifler, D. 2005. Understanding material interactions in marine environments to promote extended structural life. *Corrosion Science* **47**(5): 2335-2352.
50. 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 10 marzo 2018], Disponible en <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>
51. Vera R, et al. 2012. Protección de estructuras metálicas en diferentes ambientes. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.* vol 32 (2): 269-276.

# Anexos

**Anexo 1:** Área de generación en la Central Eléctrica.



**Anexo 2:** Motor de combustión interna de 16 cilindros.





**Anexo 3:** Elementos principales del motor Diesel.



Biela



Bomba de inyección



Bloque del motor



Aros en la izquierda inferior.  
Cilindro al lado del pistón en la izquierda superior.



Cigüeñal



Pistón



Válvula



Culata

**Anexo 4:** 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
- **MEDIA1:** 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	TDE horas/año	CONTENIDO SO <sub>2</sub> mg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> .año	CONTENIDO Cloruro: mg Cl <sup>-</sup> /m <sup>3</sup> .año
C1	≤10	≤10	≤3
C2	10-250	10-35	3-50
C3	250-2500	35-80	60-300
C4	2500-5500	80-200	300-1500
C5	>5500	>200	>1500

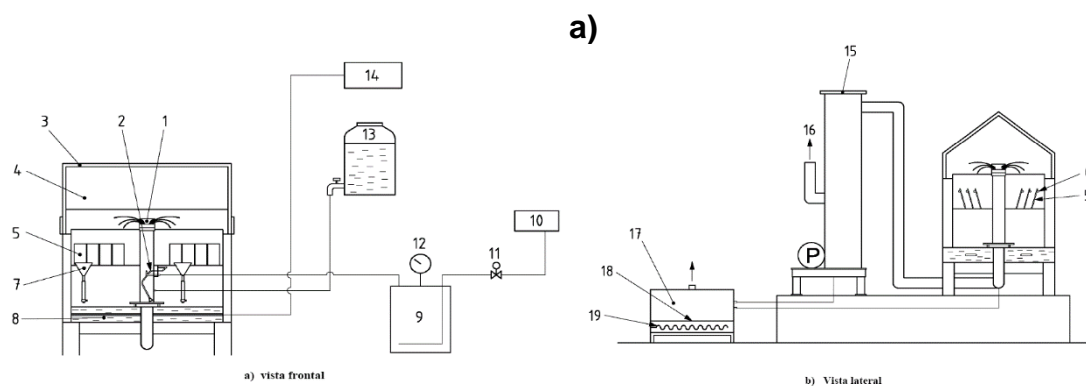
**CORROSION ATMOSFERICA ISO 12944 Y VELOCIDAD DE CORROSION 1er año**

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

## Anexo 5

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



### Leyenda.

- |  |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| 1--Torre de dispersión de la solución. | 8--Cámara.                   | 15--Evacuación de la niebla después del tratamiento. |
| 2--Pulverizador.                       | 9--Saturador de aire.        | 16--Orificio de salida de aire.                      |
| 3--Cubierta.                           | 10--Compresor de aire.       | 17--Evacuación del agua después del tratamiento.     |
| 4--Cámara de ensayo.                   | 11--Electroválvula.          | 18--Bandeja de la sal.                               |
| 5--Probeta.                            | 12--Manómetro.               | 19--Elementos de calefacción.                        |
| 6--Soporte de las probetas.            | 13--Depósito de la solución. |  |
| 7--Colector de la niebla.              | 14--Control de Temp.         |  |

b)

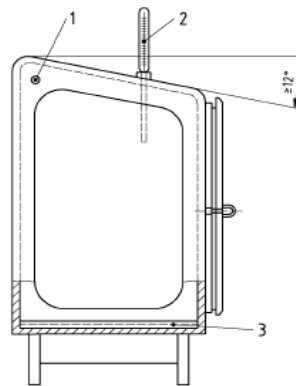
## Anexo 6

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)