

**Sistema de Protección Anticorrosiva para los carros militares en los climas tropicales húmedos.**

**Dr. C Ornan Méndez González, Dr. C Carlos Echeverría Lage,, Dra. C  
Idaelsys López Arias**

**UNIVERSIDAD DE MATANZAS “CAMILO CIENFUEGOS” Carretera  
de Varadero Km. 102, Matanzas**

## **Resumen.**

En el presente Trabajo se expone la situación que presentan el empleo y explotación de los carros militares en diferentes situaciones. Se dan a conocer los principales factores contaminantes del medio ambiente del clima tropical húmedo que afecta la funcionabilidad de estos carros y las medidas para minimizar los daños por corrosión atmosférica. Se explica el Procedimiento para la conservación del transporte en explotación (DUCAR) y como este protege los carros en explotación, además se dan a conocer los principios del proceso tecnológico del Sistema de Protección anticorrosivo, específico para los carros militares denominado DUCARFAR. Se incluyen en el presente trabajo tablas que demuestran su aplicación para diferentes países de Centroamérica y el Caribe.

## **Introducción.**

Durante el diseño y construcción de los carros militares se plantean elevadas exigencias técnicas y combativas, motivadas principalmente por el empleo combativo, por la configuración del terreno y el clima del Teatro de Operaciones Militares y otras, donde se prevé su explotación.

La influencia climática en los carros militares no ha sido suficientemente estudiada en las regiones con clima tropical húmedo y por lo tanto las medidas para el diseño anticorrosivo y su protección anticorrosiva no se corresponden con las necesidades y problemas que se presentan en la actualidad.

En el presente trabajo nos proponemos expresarles las principales características del clima tropical húmedo y su influencia en los carros militares, resaltando la acción de la corrosión en los elementos metálicos de la parte estructural, además se plantearán las acciones de un sistema de protección anticorrosivo y de conservación que disminuya la acción de la influencia climática en los carros militares.

Los carros militares por su designación combativa se pueden dividir:

1. Para el aseguramiento logístico
2. En carros para la Instrucción
3. Carros para el Combate.

En correspondencia con esta división se aplican diferentes medidas para eliminar o disminuir la influencia climática en carros militares. Constituyendo esto un Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC) específico para carros militares.

Para los carros militares destinados al aseguramiento logística y a la Instrucción se aplica en Cuba con excelentes resultados el Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC) denominado "DUCAR", que se explicará más adelante. Este Sistema, diseñado, experimentado y generalizado en el Centro de Estudios Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas en Cuba, puede ser aplicado a los carros militares en países con clima tropical húmedo principalmente en el área de Centroamérica y del Caribe.

Para los carros militares de combate se emplea el SIPAYC denominado "DUCARFAR" que tiene medidas específicas para mantener conservados los carros por más de 5 años con un elevado grado de disposición técnica y combativa y un considerable ahorro de recursos materiales y financieros.

Palabras claves: Protección anticorrosiva, conservación, corrosión, Sistemas de protección anticorrosiva, DUCAR, DISTIN, DUCAR-FAR.

## **Factores que influyen en la corrosión atmosférica.**

Los principales factores que operan en la corrosión atmosférica se clasifican como:

Factores externos:

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

Factores internos:

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

Cada uno de estos factores juega un rol en la ocurrencia y aceleración de la velocidad de corrosión. Pero el efecto combinado de varios de ellos, es lo que causa las mayores pérdidas. Se ha estudiado cada uno de estos factores por separado y la posible influencia en la velocidad de corrosión de diferentes metales.

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

Corvo y col. plantean que los parámetros que deben ser considerados como importantes para los cambios climáticos son la temperatura y humedad relativa del aire, la radiación solar, las precipitaciones, velocidad de vientos y su dirección predominante. Cuando se evalúa la corrosión atmosférica de metales, los parámetros más importantes son relacionados por la combinación de (Idaelsy 2007):

- Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR): habitualmente descrito como el complejo T-HR. La humedad es una medida del contenido de vapor de agua en el gas (aire) y se expresa en porcentajes (%). Sus valores son función viceversa de la temperatura, es decir, cuando la HR aumenta, la T disminuye y viceversa.
- Precipitación pluvial: valores anuales de las precipitaciones pluviales.
- Tiempo de humectación: (TDH), durante éste existe humedad en la superficie del metal y la corrosión puede desarrollarse. Esta capa de humedad puede ser generada por lluvia, niebla, nieve, condensación capilar, rocío u otros fenómenos similares.

### **Temperatura (T).**

El efecto de la temperatura en la corrosión atmosférica no resulta determinante en las condiciones del ambiente de los países del área del Caribe y Centroamérica, ya que las variaciones no son de consideración. Su efecto fundamental se manifiesta en la temperatura de la superficie metálica, la que puede alcanzar niveles considerables (superiores a 70 °C), bajo la acción de la radiación solar, condiciones en las cuales se elimina toda humedad. De acuerdo con lo anterior, al aumentar la temperatura de la superficie metálica, disminuye la velocidad de corrosión e incluso, el proceso corrosivo se detiene en ausencia de humedad.

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

En ambientes interiores, las condiciones atmosféricas y por ende los procesos de corrosión dependen de las características de los locales y obras. De los resultados de estudios realizados se observa que los valores mínimos de temperatura (10.5 °C) se alcanzan en las naves techadas y en las obras soterradas el valor mínimo alcanza un aproximado de 20 °C, esto implica que en las condiciones de silos, naves y cuevas se alcancen normalmente los valores del punto de rocío del aire atmosférico pudiendo ocurrir la condensación de la humedad en el medio ambiente .

Los valores máximos de temperaturas oscila entre 34.3 °C (naves) y 27.2 °C (túneles), se aprecia que en el intercambio con el exterior los valores máximos se ubican por magnitud en el orden siguiente: Naves-Silo-Cuevas-Túneles, siendo las magnitudes en que oscilan estos valores, las necesarias para que se desarrolle el proceso de corrosión, observándose cierta estabilidad entre los 26-28 °C. Los valores medios entre 21.3-24.2°C en las naves techadas entre 23.3-25.5 °C para las obras soterradas, pudiéndose enmarcar en sentido general entre 21-25 °C .

### **Humedad Relativa (HR).**

Ya que las estructuras metálicas expuestas a la atmósfera no se encuentran bañadas por grandes cantidades de electrolitos, la mayor parte de la corrosión atmosférica tiene lugar en celdas de corrosión altamente localizadas.

**Uno de los tipos de corrosión atmosférica a señalar es la húmeda, donde el desarrollo de su mecanismo, que se presenta bajo la acción de delgadas películas de humedad no visibles, se forman por condensación capilar, higroscopicidad, adsorción, etc., lo cual tiene lugar para humedades relativas inferiores al 100 % y superiores al 50 %.**

**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. A partir de este se pueden producir diferentes situaciones durante el proceso corrosivo, en dependencia del espesor de la película de humedad sobre la superficie metálica .**

**De acuerdo con lo antes tratado, se comprende que la presencia de humedad sobre la superficie metálica, incrementa considerablemente la velocidad de corrosión, e incluso se refieren resultados de mayores incrementos en zonas de humedecimiento y secado periódico, en lo que determina la falta de establecimiento de capas de productos de corrosión protectoras. No obstante se insiste que lo que determina en la magnitud de la corrosión atmosférica es el tiempo en que permanece la superficie metálica húmeda. Si esto se acepta, entonces, a la intemperie se producen períodos, donde producto de la influencia de la radiación solar tiene lugar un calentamiento de la superficie metálica y por tanto se elimina la humedad adsorbida, cesando la corrosión .**

En condiciones interiores los valores mínimos de humedad relativa oscilan desde valores de 38% para las naves techadas hasta el 88% para los túneles. Los valores máximos de humedad relativa resultan muy uniformes para todos los casos estudiados 97-98%. Los valores medios de humedad oscilan entre 88-94%, para el caso de las obras soterradas, que presentan su mayor valor producto del poco intercambio con el medio exterior. Se reconoce que los rangos de humedad relativa media reportados, siempre superan los valores necesarios para el desarrollo de la corrosión (70%), manifestándose en el siguiente orden: túneles (90%), cuevas (89%), silos (85%), naves techadas (78%). ( )

Sin embargo, al estudiar el comportamiento del complejo temperatura-humedad relativa del aire en las obras, se calculan los tiempos de humectación para una humedad

relativa mayor del 80%, planteando que oscila en el rango de 1500-3000 h/año para las naves techadas y de 7500-8500 h/año en las obras soterradas (túneles, silo, cueva) para la temperatura de 25 °C y con humedad relativa de 85-95% respectivamente, del tiempo total en horas en un año (8760 horas totales en un año). A partir de lo anterior, se plantea que en las obras soterradas no se alcanza una velocidad de corrosión estacionaria, el proceso de desarrollo de la corrosión es prácticamente continuo, por lo que es necesario tenerlo en cuenta durante un almacenamiento prolongado de la técnica, el armamento y el material de guerra .

### **Tiempo de humectación (TDH).**

El parámetro TDH es de gran importancia, puesto que es una medida directa para el tiempo real de corrosión o de operación de las múltiples celdas de corrosión en la superficie del metal. Habitualmente el TDH es calculado en horas, de acuerdo con la norma internacional ISO 9233: 92, e incluye el complejo diario de  $T - HR$ , utilizando el valor de  $HR = 80\%$  como valor crítico ( $t \geq 0^\circ C$ ), cuando inicia la condensación de agua sobre la superficie del metal. Al llegar la HR a 90 % y  $T < 25^\circ C$  se alcanza el punto de rocío y la capa húmeda es mas gruesa. Este cambio induce una alteración en la velocidad de corrosión del metal. Cuando la película de humedad es mas fina, ella representa una barrera menor para la difusión molecular del agente oxidante (el oxígeno del aire) desde el ambiente gaseoso hacia la superficie metálica y la capa de humedad puede ser prácticamente saturada de oxígeno disuelto. Su concentración y proceso de difusión se encuentran mas dificultados en el caso de una película de condensación más gruesa .

### **Efecto de las precipitaciones.**

En trabajos desarrollados como parte del Proyecto de Mapas Iberoamericanos de Corrosión Atmosférica (MICAT), plantean que las precipitaciones (lluvia, niebla, rocío, nieve), tienen una influencia marcada en el proceso corrosivo de los metales, debido al efecto de lavado de los contaminantes acumulados sobre la superficie metálica, lo que puede provocar un retardo del proceso corrosivo.

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

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

A primera vista, la principal diferencia entre los ambientes interiores y exteriores es la ausencia de precipitaciones en los primeros.

El efecto de las lluvias es tomado en consideración en este trabajo para determinar la posible correlación entre este factor y la velocidad de corrosión en el acero en condiciones de intemperie de las obras de alta protección estudiadas. En los interiores soterrados de estas obras, la condensación se manifiesta por la presencia de numerosas y constantes goteras, además de la formación de niebla en ocasiones. Por ello la superficie metálica permanece húmeda la mayor parte del tiempo, sin que ocurra el efecto de lavado de la superficie.

### **Influencia de los vientos.**

El encargado de transportar los contaminantes es el viento, se destaca que la velocidad del viento puede promover un doble efecto a su vez, si se conjuga con la lluvia ya que en ausencia de esta una alta velocidad del viento produce un efecto de secado sobre la superficie y por ende un decrecimiento en la velocidad de corrosión. Por su parte, un efecto combinado de la lluvia con el viento, da lugar al lavado de la superficie del metal, es decir una remoción de los contaminantes que aceleran el proceso corrosivo y por tanto también disminuye la velocidad de corrosión.

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.

En las estaciones estudiadas se tiene en cuenta la influencia del viento en la velocidad de deposición de los contaminantes determinados en los diferentes captadores y su efecto en la velocidad de corrosión del acero, en la intemperie.

En el estudio realizado en la zona occidental de Cuba, se plantea que la velocidad de corrosión aumenta en almacenes interiores de alta protección cuando las superficies expuestas son alcanzadas por rachas de viento provenientes del exterior. En los interiores estudiados en este trabajo se emplea la ventilación forzada, haciendo recircular aire desde el exterior hacia el interior que es filtrado durante la operación. La calidad del aire depende entonces del grado de contaminación del aire atmosférico exterior y de la efectividad en la operación de filtración de este aire que se envía al interior. También es importante tener en cuenta la posibilidad de penetración de aire desde el exterior por las vías de acceso directo (puertas, entradas y salidas de las obras).

### **Efecto de los contaminantes.**

La presencia de contaminantes específicos de un ambiente dado causa generalmente una aceleración de la velocidad de corrosión con respecto a la que existiría en una atmósfera limpia. Durante la exposición de metal a la intemperie (en lugares abiertos, no techados) se considera habitualmente que los contaminantes pueden llegar a la superficie del metal por deposición seca y durante el tiempo de humectación (TDH) comienzan a actuar y reaccionar con la superficie metálica. Por otro lado se reconoce la deposición húmeda, la que incluye el transporte de los contaminantes por las precipitaciones, mientras que la deposición seca incluye el transporte por otros procesos, tales como los gases, aerosoles y distintos materiales (arena, polvo, materiales provenientes de la actividad humana) .

- Dióxido de carbono: Es un constituyente natural de la atmósfera absorbido y emitido por la vegetación dentro de su ciclo natural de fotosíntesis. Es producido también por fuentes antropogénicas. Este último flujo es solamente un 3% del flujo natural, pero no está completamente equilibrado con otros procesos naturales. Como consecuencia la concentración de CO<sub>2</sub> crece un 0,5% anualmente. La mayoría de este incremento se debe a la combustión de combustible fósil. La localización de las emisiones antropogénicas corresponde a las naciones más industrializadas: Norte América, Europa y Japón.
- Ozono (O<sub>3</sub>): La mayoría de las transformaciones gaseosas que tienen lugar en la atmósfera son iniciadas por los radicales hidroxilo (OH) o la molécula de ozono. Ninguno de los dos compuestos es emitido por ninguna fuente, sino que son producidos por procesos fotoquímicos de la atmósfera. El radical hidroxilo reacciona con una amplia variedad de gases atmosféricos, como resultado su

concentración es baja. El ozono es significativamente menos reactivo por lo que su concentración es mucho mayor relativamente. Una pequeña cantidad de ozono ambiental se disolverá en cualquier capa de agua existente en la superficie de los materiales. Es conocido su carácter oxidante, por lo que puede tomar parte en los procesos de corrosión (la reacción anódica de oxidación del metal).

- Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ): Este es el único gas de la atmósfera con carácter básico (pH alcalino), por lo que a menudo actúa como contraparte de gases ácidos. Los ecosistemas naturales y la superficie del mar emiten amoníaco, pero el ciclo global está dominado por emisiones antropogénicas. La agricultura es ampliamente el sector con más emisiones de amoníaco. El excremento de los animales, los fertilizantes sintéticos, los sembrados y la quema de la biomasa son fuentes de amoníaco. Los animales domésticos son una fuente de amoníaco. Este compuesto es altamente soluble en agua y se pierde en partículas de aerosol, cubiertas de agua y en las nubes a alta velocidad, ocurriendo el llamado proceso de deposición húmeda, en el cual el producto final, después de su combinación con el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es generalmente sulfato de amonio ( $\text{NH}_4\text{SO}_4$ ). Una cantidad sustancial de amoníaco se pierde en la atmósfera por deposición en la superficie del planeta, un término denominado deposición seca, en el cual la molécula gaseosa se adsorbe en la superficie. Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ): La fuente primaria de este contaminante es la combustión a altas temperaturas, en la cual tiene lugar la formación de óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) que se oxida rápidamente por el ozono y forma el dióxido de nitrógeno. La mayor fuente de combustión es la quema de combustibles fósiles, aunque también es significativa la quema de la biomasa. Existen otros procesos en los cuales se producen algunas cantidades de  $\text{NO}_2$  en el suelo. Su fuente principal es antropogénica y la distribución de sus emisiones presenta los mayores niveles en Norte América, Europa y el Asia Sur occidental. El  $\text{NO}_2$  es bastante insoluble en agua, no obstante en la fase gaseosa puede combinarse con los radicales hidroxilo para formar ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Como es conocido, el ácido nítrico es muy soluble en agua y se combina en los aerosoles y en gotas de agua en las nubes.
- Sulfuro de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ): Es un producto de la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos de azufre. Las fuentes son fundamentalmente de origen natural, aunque hay algunas fuentes antropogénicas como las plantas de tratamiento de residuales. En el ámbito global su concentración es baja pero puede ser alta localizadamente como en la producción de papel y en pozos de petróleo.
- Ácidos orgánicos: Los ácidos fórmico ( $\text{HCOOH}$ ) y acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) son los más simples y comunes de los ácidos orgánicos volátiles. Estos ácidos son agentes corrosivos para la gran mayoría de los metales. Muchos procesos tecnológicos usan y emiten estos gases en alguna magnitud. La fuente más común de estos ácidos es la combustión incompleta de la madera o de otro tipo de vegetación y las reacciones del smog fotoquímico. La madera recién cortada libera ácidos orgánicos, a menudo a una velocidad bastante rápida. Ellos pueden constituir una fuente apreciable de contaminación. Son altamente solubles en agua, donde se disocian parcialmente.
- Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ): Este es el gas más **corrosivo (por ser el más extendido en todo el mundo, pues, por ejemplo, el ozono es mucho más reactivo y a iguales concentraciones el ozono corroe más, igual sucede para el cloruro de hidrógeno gaseoso)** para los metales. Se forma durante el proceso de combustión

de todos los combustibles fósiles conteniendo azufre y es también emitido durante el proceso metalúrgico de purificación de los metales. Muchos minerales que contienen los metales en condiciones naturales se encuentran en forma de sulfuros. Estos sulfuros se calientan a altas temperaturas para eliminar el azufre en forma de  $\text{SO}_2$ . Los mayores niveles de  $\text{SO}_2$  antropogénico se localizan en ambientes industriales y urbanos. Al igual que el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{NO}_2$ , las emisiones de  $\text{SO}_2$  reflejan el nivel de desarrollo industrial de las diferentes regiones y continentes. El  $\text{SO}_2$  es moderadamente soluble en agua, por lo que una fracción significativa es absorbida por las partículas de aerosol. Al ser disuelto en agua, en presencia del oxígeno del aire el  $\text{SO}_2$  se convierte a  $\text{SO}_3$  el cual no es estable y se forma el ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), posteriormente transformado en el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Este último es un ácido que se disocia en el agua dando origen a los iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y los de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ). Un proceso similar ocurre cuando el gas  $\text{SO}_2$  se deposita sobre la superficie de los metales. Este fenómeno se reconoce como lluvias ácidas que han sufrido estructuras metálicas expuestas en regiones industriales o urbanas. El proceso de corrosión de varios metales (aceros, por ejemplo) es mucho más acelerado, debido al pH ácido de la capa húmeda formada sobre el metal.

- Cloruro de hidrógeno ( $\text{HCl}$ ): La mayoría del cloruro de hidrógeno gaseoso llega a la atmósfera a través de reacciones que ocurren en las partículas de aerosoles salinos. Estas partículas son ricas en ácido clorhídrico que se libera como gas cuando está presente un ácido más fuerte, por ejemplo el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) o el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Como los ácidos fuertes son emitidos en las cercanías de las industrias y regiones consumidoras de energía, las áreas donde se reportan las mayores concentraciones son el Mar del Norte (entre Inglaterra y Noruega), la Europa Norte Occidental y las costas sur occidentales de Australia. El gas  $\text{HCl}$  es muy soluble en agua por lo que tiende a disolverse rápidamente en las gotas de agua o a depositarse en las superficies húmedas. De esta forma se convierte en ácido clorhídrico que se disocia rápidamente formando el ión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) que es un fuerte agente corrosivo, así mismo como el ión hidrógeno ( $\text{H}^+$ ), por lo que el pH de la capa húmeda es ácido, que acelera la mayoría de los procesos de corrosión metálica.

Se considera que el contaminante más habitual en una atmósfera urbana o industrial es el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y para las regiones marinas-costeras el ión cloruro es el contaminante principal (...). No se ha hecho referencia en este caso al sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) proveniente del aerosol marino que será tratado más adelante.

En ambientes interiores se han reportado concentraciones de los gases más importantes como contaminantes corrosivos ( $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCHO}$  y  $\text{HCOOH}$ ), generalmente en niveles más bajos, comparados con los de ambientes exteriores. Exceptuando al  $\text{NH}_3$  y  $\text{HCHO}$ , de los que habitualmente se detectan concentraciones mayores en ambientes interiores como resultado de la actividad antropogénica. También es significativo el bajo nivel de varios oxidantes ( $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ). Así mismo, la velocidad del aire es muy distinta en estos ambientes, lo que determina significativamente más baja velocidad de deposición seca de los contaminantes, comparada con las atmósferas exteriores. ( )

Para estos ambientes, las partículas atmosféricas existen en dos fracciones de tamaño: gruesas y finas. Las partículas gruesas (mayores que  $2\mu\text{m}$  en diámetro) son usualmente materiales naturales, generados por rocas y suelos. Debido a su tamaño, éstas pueden ser filtradas con una gran eficiencia, del aire suministrado en estos ambientes interiores. Las partículas gruesas habitualmente no son corrosivas, pero pueden ser abrasivas. Las

partículas finas (menores que  $2\mu\text{m}$  de diámetro) más difíciles para ser removidas con filtración del aire, pueden encontrarse en una concentración significativa en ambientes interiores. Estas partículas, que típicamente son originadas por procesos de combustión, habitualmente contienen una proporción alta de compuestos iónicos, solubles en agua, los que son más corrosivos que los materiales provenientes de la naturaleza. Los iones más comúnmente encontrados en estas partículas son  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , presentados en relativamente iguales proporciones molares.

En interiores la corrosión atmosférica está determinada por la deposición de partículas, considerada como la mayor fuente de agentes corrosivos para el metal. Así considera que los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) acumulados sobre las superficies metálicas en interiores son originados principalmente por partículas, a diferencia de exteriores donde son originados por el gas  $\text{SO}_2$  y lluvias ácidas. En particular para el cloruro reconoce su origen de dos fuentes: partículas y gases reactivos. No se considera en ninguno de los casos al aerosol marino como fuente de estos contaminantes en interiores. No obstante, podemos apreciar del estudio simultáneo de contaminación por cloruros y sulfatos que para los distintos tiempos de exposición los mayores valores se obtienen en la zona costera, no solo para exteriores sino también para interiores ventilados. Este aspecto denota una posible influencia del aerosol marino en estos interiores ventilados, por el hecho de que la velocidad de deposición de los contaminantes es mayor en la zona más cercana a la fuente emisora del aerosol marino (el océano). Sin embargo, los valores obtenidos reflejan que la concentración de cloruro supera a la de sulfato únicamente en la zona costera exterior, mientras que en los interiores ventilados el sulfato siempre es mayor, aunque en la zona costera, los valores de cloruro son bastante cercanos a los de sulfato. Este hecho puede deberse a dos causas posibles, una es que exista una fuente suministradora de sulfato en interiores, que no debe atribuirse a hechos eventuales relacionados con la actividad humana.

### **Aerosol marino y corrosión atmosférica.**

A partir de un estudio realizado en Nigeria, se plantea que la salinidad atmosférica y la distancia a la costa, son un factor determinante en la corrosión atmosférica, independientemente del tipo de clima tropical o templado. Además, el viento es el encargado de transportar los contaminantes desde el mar.

La corrosión atmosférica es una de las formas más comunes en que se analizan los efectos de este fenómeno. De todos los componentes particulares que penetran en la atmósfera los aerosoles marinos son los más abundantes. Mientras mayor es la velocidad de los vientos, mayor es la abundancia de cabrillas generadoras de salpicaduras en la superficie del mar .

**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 (cientos de kilómetros) y grandes alturas (decenas de kilómetros). Para los países costeros y las islas, este constituye uno de los factores que mayores influencias tiene en las elevadas pérdidas por corrosión que se producen en estas áreas. En las condiciones climáticas de Cuba, este factor resulta determinante y responsable de agresividades altas, muy altas y extremas. En estudios de la corrosión atmosférica realizados internacionalmente hasta la actualidad, donde está presente la influencia del aerosol marino, se hace referencia por lo general a la acción de los iones cloruros en la corrosión y al analizar las determinaciones de compuestos de azufre que se expresan como sulfato, se asocia su origen al azufre antropogénico, causas frecuentes de error en los análisis que se realizan.**

**Una de las principales causas de la agresividad atmosférica en Cuba, lo constituye la influencia del aerosol marino, el cual al conjugar su acción con factores meteorológicos y de contaminación, ocasionan pérdidas de consideración.**

En investigaciones meteorológicas realizadas en Cuba, se reconoce la influencia de la masa de aire oceánico en la contaminación regional del aire en nuestro país, la influencia marina en el régimen térmico e incluso, se han determinado núcleos gigantes de sal de mar en zonas alejadas de las costas y a elevadas alturas.

Se hace énfasis en la influencia del aerosol marino en la magnitud de la corrosión atmosférica, coincidiendo la casi totalidad de los autores, en las publicaciones más recientes, que el principal responsable de esta acción es el ión cloruro.

Estudios realizados en la zona industrial de la ciudad de Matanzas, Cuba, demuestran que en dependencia de la distancia de la costa, disminuye la proporción de los iones cloruro, lo que es muy notable en esta zona y trae aparejado una amortiguación de la corrosión .

En Cuba, la influencia de los cloruros, provocados por el aerosol marino, es muy significativa en la elevación de la velocidad de corrosión y una vez que ya está formada la capa, existe un proceso de adsorción competitiva entre los cloruros y los sulfatos. Por otra parte, en cuanto a las condiciones ambientales de Cuba se ha planteado que se distinguen 2 períodos cualitativamente diferentes en el año, a saber : - temporada invernal o de seca (octubre a marzo), con gran influencia de los vientos del norte-nordeste que producen rompientes en la costa , y por ende, grandes concentraciones de aerosol marino en el aire, suficientes para incrementar drásticamente la corrosividad y - temporada de lluvias o de verano (abril a septiembre), donde los vientos provenientes del sur originan rompientes y cabrillas de poca envergadura .

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

En las zonas bajo la influencia del aerosol marino (**en exteriores**) la contaminación por compuestos de azufre está determinada por la presencia del sulfato que acompaña al cloruro, por lo que es posible obtener una relación estable ( $Cl^-/SO_4^{2-}$ ), próxima a 7, que permite, conociendo la concentración de cloruro, estimar la concentración de sulfato que la acompaña y con ello esclarecer el origen de la contaminación por compuestos de azufre que influye en la corrosión.

La contaminación del  $SO_2$  sobre el acero depende mucho de la cercanía del lugar de ensayo a una fuente emisora de este contaminante, pero no está sujeto a ningún efecto estacional. Reconocen la influencia del aerosol marino, de fuerte efecto estacional, muy evidente en la cercanía de la costa, pero según plantean queda amortiguado por el efecto del  $SO_2$ , a medida que aumenta la distancia de la misma tierra adentro y en zonas protegidas por obstáculos topográficos o construcciones.

**Relación cloruro/ sulfato.**

En estudios de corrosión presentados en el marco del Primer Congreso de Corrosión NACE-Región Latinoamericana, se pueden citar varios trabajos donde el empleo de la

relación cloruro/sulfato hubiera permitido esclarecer en mayor medida la fuente de la contaminación por compuestos de azufre.

Los resultados de los productos cloruro y sulfato solubles en agua a partir de probetas de acero corroídas y la contaminación con cloruros y compuestos de azufre (dióxido de azufre) según la ISO/DIS 9225 , para Barcelona y Puerto Cabello y se señala al respecto: “Estos resultados son un indicativo de que estamos en presencia de atmósferas marinas ligeramente contaminadas por compuestos de azufre y muy similares desde este punto de vista” .

En base a los resultados en Barcelona y Puerto Cabello, la contaminación reportada por compuestos de azufre tiene su principal fuente de origen en el aerosol marino, existiendo similar resultado por la ISO/DIS 9225 .

Los resultados anteriores de sulfatos y cloruros de muestras de aceros corroídas, no se encuentran muy afectados por el efecto de lavado precisamente por tratarse de una región semiárida de Venezuela con pocas precipitaciones. La mayor relación que se obtiene a partir de datos de contaminación por la ISO/DIS 9225 , puede ser explicada por la mayor captación de iones cloruros que se logra con la bujía húmeda, con respecto al sulfato en la bujía de peróxido de plomo.

Para la estación 1 se reportan los resultados expuestos en la tabla 1.4 anexo1. Como se observa, se coincide con el análisis del autor en que existe contaminación por compuestos de azufre, pero predominando los sulfatos procedentes del aerosol marino, que alcanzan una concentración de  $9.1 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{día}$  a partir de la relación y la diferencia  $6.35 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{día}$  corresponde a otras fuentes de contaminación que originan sulfatos. Como se demuestra en otros trabajos , estos resultados son de gran importancia, ya que permiten esclarecer la participación del aerosol marino en la corrosión en zonas alejadas de las costas, tal y como se reportan en otros trabajos.

### **Corrosión atmosférica en ambientes interiores (indoor).**

A partir de los estudios realizados en el occidente de Cuba, se plantea que el proceso de corrosión en ambientes interiores puede ser visto como una variación de su análogo en exteriores (a intemperie) con diferencias, entre las que se citan: que no hay contacto directo con precipitaciones y sus constituyentes; La humedad relativa y la temperatura pueden ser controlados lo que determina que la cantidad de agua absorbida sobre la superficie del metal sea menos que la que se forma en superficies metálicas expuestas a la intemperie, sin embargo, la cantidad de agua puede ser constante por un tiempo razonablemente largo; Las mezclas de gases y partículas que actúan sobre la superficie metálica expuesta en condiciones interiores, se diferencian notablemente de aquellas de ambientes exteriores, la composición de estos gases en ambientes interiores puede ser más sencilla o más compleja, dependiendo del sistema de filtración de aire que existe, así mismo de partículas y de la presencia de flujos de partículas y gases de fuentes internas; Los metales expuestos en condiciones interiores se encuentran bajo una radiación solar muy diferente y generalmente menor que los metales en exteriores, lo que desactiva la mayor parte de los fotoprocesos que ocurren por la radiación ultravioleta en exteriores.

Los contaminantes (parámetros aeroquímicos), acciones mecánicas, acciones químicas por fuerzas naturales, partículas de polvo (de suelos, rocas, polvo volcánico, de origen orgánico, industrial), así mismo manipulaciones del ambiente por distintas vías, pueden directamente afectar la corrosión del metal expuesto en condiciones interiores y este proceso puede ser mucho más complejo que en condiciones exteriores (...).

El polvo es otro factor que se considera de alta incidencia en la corrosividad. En atmósferas interiores, hay una tendencia a ser mayor la pérdida de peso en las probetas expuestas horizontalmente respecto a las expuestas en posición vertical. Aunque cuando la velocidad de corrosión es muy baja, no hay una diferencia definida entre la posición horizontal y la vertical. En esto juega un papel importante el tipo de ventilación. Cuando la humedad es controlada (cuarto cerrado) la velocidad de deposición del polvo es menor que en aquellos casos en que las muestras son alcanzadas por ráfagas de viento desde el exterior de vez en cuando .

Los estudios en el occidente de la isla, reportan que las concentraciones de cloruro y de dióxido de azufre resultan bajas en las condiciones de obras soterradas, sin embargo el empolvamiento total alcanza valores apreciables, en ocasiones muy altos, con magnitudes de 5-15 mg/m<sup>2</sup>.día llegando a alcanzar valores de 200 mg/m<sup>2</sup>.día (Corvo 1980).

Para las obras soterradas, se reporta a partir del análisis de los resultados de los estudios realizados en la región occidental, que de acuerdo al tipo de obra soterrada, los niveles de agresividad corrosiva se comportan de la forma expresada en la tabla 1.5 anexo 1. A los contaminantes mencionados, se agrega el efecto de la flora microbiana presente en las obras debido a que las condiciones de humedad, temperatura e iluminación, fundamentalmente en locales soterrados, son propicias para la proliferación de microorganismos y esto representa un elemento más en la contaminación del medio y puede influir en la agresividad corrosiva interior.

El proceso de corrosión atmosférica puede ser mas complicado cuando micro- y/o macroorganismos están presentes, por ejemplo, en clima tropical y subtropical, donde la corrosión microbiana (biocorrosión) se desarrolla.

Estudios microbiológicos realizados en varias obras de alta protección han dado como resultado que existe una concentración promedio de 10600-20000 colonias /m<sup>3</sup> de aire, lo que unido a las condiciones ambientales de las obras, como son: poca iluminación, poca ventilación (velocidad del aire inferior a 5m/s), provocan el biodeterioro de los artículos y materiales de los medios almacenados (textiles, papel, madera, óptica, **polímeros**, pinturas, combustibles y lubricantes, entre otros). Además se estableció que la microbiota ambiental está integrada principalmente por los géneros *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp, y *Cladosporium* spp (spp significa que la especie no está identificada). Existen diferencias obvias entre atmósferas exteriores (outdoor) y ambientes interiores (indoor) y como consecuencia el comportamiento corrosivo de metales es diferente en los dos casos. Expone como diferencias más marcadas la influencia en la capa húmeda que se forma sobre el metal en condiciones de intemperie de las variaciones climáticas, fundamentalmente, la influencia de las precipitaciones, los cambios diarios de temperatura y humedad relativa, **aeroquímica** del aire (contaminantes), velocidad del viento y su dirección predominante. Debido a ello, la superficie del metal sufre ciclos de humectación y secado, cuyo efecto se refleja en la morfología de los productos de corrosión que se forman. Sin embargo, en ambientes interiores el espesor de la película húmeda formada sobre el metal, es habitualmente de menor espesor y frecuentemente gobernada por relativamente, constantes condiciones de humedad controlada ( ). Una de las ventajas principales que ofrecen las atmósferas interiores es que pueden ser manipuladas y controladas, reduciendo al mínimo los efectos de la contaminación. En estudios recientes, se corrobora que la influencia de la corrosión atmosférica en interiores es menor que a la intemperie y los niveles más bajos se alcanzan en condiciones soterradas; pero aún en estas condiciones, no se puede negar la penetración de agentes corrosivos desde el exterior, transportados por corrientes de aire y su

influencia en la agresividad del medio interior, incluso en obras soterradas muy alejadas de las costas ( ).

La contaminación por cloruro disminuye considerablemente bajo abrigo ventilado , comparado con las condiciones exteriores, tanto para regiones costeras como rurales, porque los iones cloruro no pueden penetrar a los espacios interiores de los almacenes, siendo prácticamente imposible su penetración en espacios cerrados. En cambio, consideran que los compuestos sulfurados no presentan tal marcado decrecimiento, quizás porque estos se encuentran, principalmente en estado gaseoso en la naturaleza ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , etc.); aunque hay aerosoles que contienen sulfatos. No obstante, plantean que el nivel de deposición de sulfato en condiciones bajo abrigo ventilado disminuye más de dos veces con respecto a la intemperie, siendo mayor la diferencia en las estaciones rurales (más de tres veces). (perform)

Como ya se había planteado esto puede ser debido a la penetración del aerosol marino desde el exterior , que es más evidente en las zonas costeras y evidencia una posible penetración de los iones cloruro hacia el interior de los almacenes bajo abrigo ventilado. Como ya se ha planteado para la obtención de los datos mostrados en la tabla anterior, se emplearon los captadores diferentes para sulfato y para cloruros. Dichos captadores presentan diferencias en cuanto a sensibilidad, área de captación, entre otras, lo que debe influir en la magnitud de los resultados finales. Como ya fue referido anteriormente, se señala que la relación cloruro/sulfato, puede ser muy útil a la hora de determinar el origen del sulfato y la presencia de aerosol marino, pero hasta el momento no se ha hecho uso de esta relación en estudios simultáneos de corrosión atmosférica interior/exterior.

En la tabla 1.6 anexo 1, se muestran las clasificaciones de la agresividad corrosiva de las atmósferas estudiadas. En estos resultados se observa nuevamente una mayor agresividad de la atmósfera debido al contaminante cloruro en las condiciones bajo abrigo ventilado de las regiones costeras con respecto a las mismas condiciones en las zonas rurales, aspecto que contradice nuevamente el planteamiento de que los iones cloruro no pueden penetrar desde el exterior hacia el interior de los almacenes, pues la mayor concentración de este contaminante en las regiones costeras, puede ser debido a una mayor influencia del aerosol marino que penetra desde el exterior.

De igual manera ocurre con los datos de pérdida de peso en el acero para diferentes tiempos de exposición (tabla 1.7 anexo 1). Se puede observar que en condiciones bajo abrigo ventilado, las pérdidas de peso en zonas rurales son mucho menores que en zonas costeras. Esto también puede ser debido a la influencia del aerosol marino, más acentuada en las zonas costeras, pero que igualmente presupone la penetración de cloruros y sulfatos desde el exterior hacia el interior de las obras.

En condiciones bajo abrigo ventilado y en espacios cerrados, donde las concentraciones de los contaminantes son más bajas, determinar ambos (cloruro y sulfato) en un mismo captador, podría eliminar diferencias por errores en las determinaciones de los valores finales y lograr una mayor exactitud en los niveles de deposición de los contaminantes y la agresividad corrosiva del medio.

Se plantea que para el acero, cuanto mayor es el nivel de agresividad corrosiva en exterior, mayor es la diferencia de proporcionalidad entre los niveles de agresividad corrosiva en el interior con respecto al exterior. Aunque, en atmósferas urbanas-industriales esta relación disminuye con el tiempo, debido quizás, a una mejora en las propiedades **protectoras** de los productos de corrosión .

Un análisis general demuestra que existe influencia de cloruros y sulfatos en la velocidad de corrosión del acero, durante los primeros 6 meses de exposición y después, en exteriores. Durante ese tiempo, una capa de productos de corrosión se forma sobre la

superficie metálica . En condiciones soterradas, la capa de óxido que se forma es mucho más delgada, para tiempos de exposición prolongados con respecto, incluso, a las probetas expuestas en exteriores por períodos de un mes.

En condiciones interiores también es significativa la influencia del ión cloruro, en la agresividad corrosiva de la atmósfera. Y en las regiones costeras, hay un incremento en la concentración de este contaminante. En las regiones rural, urbana e industrial, no queda clara todavía la tendencia en los niveles de cloruro (...). aunque sí queda definido que existe una disminución del mismo en la medida que nos alejamos de la costa norte.

En la cita anterior no se afirma la influencia del aerosol marino en interiores, aunque se señala que en regiones costeras hay un incremento de este contaminante.

La acción de los compuestos sulfurados ocurre a través de la interacción con los iones cloruro. Se plantea la posibilidad de existencia de un mecanismo de adsorción competitiva. Sin embargo, no se observa en los niveles de sulfato el mismo comportamiento que en el caso del cloruro, o sea, el decrecimiento en los niveles de compuestos sulfurados, no es tan significativo en la medida que nos alejamos de la costa norte .

Entre los factores meteorológicos, las horas de humectación es un factor de importancia, ya que se logra mayor influencia corrosiva de los contaminantes en el acero, cuando la temperatura es menor que 25°C (presencia de rocío), que cuando está por encima de ese valor (mayor evaporación).

En el caso de los metales no féreos, el tiempo de lluvias es más significativo que el tiempo de humedad (5-25°C) en atmósferas exteriores, con respecto a la incidencia de los niveles de contaminación por ión cloruro. Esto puede ser debido a que los compuestos de cloruro y sulfato de metales no féreos son menos solubles que los del acero.

La determinación de los tiempos de humectación y lluvias, es importante para la caracterización de la atmósfera y la diferencia de corrosividad entre el interior y el exterior. Se han obtenido los valores más significativos de influencia del ión cloruro, en la correlación con el tiempo de lluvia en exteriores y con el tiempo de humectación en interiores. Así como, el tiempo de humectación (5-25°C) arrojó los valores más significativos respecto a la influencia del sulfato en interiores (..).

### **Medidas para minimizar los daños por corrosión atmosférica.**

Existen una serie de medidas que pueden ponerse en práctica para minimizar los daños que causa la corrosión atmosférica (...): El uso de materiales resistentes; Uso de recubrimientos inorgánicos, metálicos y orgánicos; Inhibidores en fase vapor (VPI); Climatización y deshumidificación

#### **Los recubrimientos.**

El uso de recubrimientos tiene como objetivo fundamental aislar al material del medio corrosivo.

Los recubrimientos metálicos se aplican en finas capas sobre las piezas para aislarlas del ambiente corrosivo, y su aplicación depende tanto de su tendencia a corroerse (potencial electroquímico), como el ambiente en donde se utilizará, pues este potencial puede variar.

En ocasiones estos recubrimientos sirven de ánodo de sacrificio, siendo su función, que ellos se corroan y protejan al material base. Éste es el caso del acero galvanizado, el cual es un acero recubierto de una fina capa de zinc, que se obtiene haciéndolo pasar a

través de un baño o electrolito depositando el zinc sobre su superficie. El zinc es anódico respecto al acero y se corroerá en presencia de una atmósfera, evitando así el deterioro del acero.

Los recubrimientos orgánicos como pinturas, barnices, lacas u otras sustancias orgánicas **poliméricas** que se utilizan para proteger a los materiales metálicos de la corrosión, deben aplicarse de modo conveniente sobre superficies bien preparadas, pues de ello depende en gran medida el grado de protección que originen.

Entre los productos que se emplean en la conservación contra el deterioro de metales y recubrimientos de pintura, los más difundidos y empleados son las grasas de conservación temporal y las ceras impermeabilizantes y abrillantadoras.

Las grasas de conservación tienen como ventajas principales la facilidad de aplicación, diversidad, tiempo de duración, fácil eliminación, entre otros.

### **Conservación en obras de alta protección.**

El almacenamiento y conservación en este tipo de obras responde a la necesidad de proteger, fundamentalmente los carros militares de Combate para tiempo de guerra. Podemos asumir por lo tanto las siguientes terminologías para carros en conservación.

**Conservabilidad:** Propiedad de un carro militar de mantener ininterrumpidamente su capacidad de combate o su buen estado de disposición técnica durante y después del almacenamiento en condiciones dadas .

**Conservación a corto plazo:** Es la conservación por un plazo máximo de hasta un año. Se realiza a los carros que esperan reparación o se encuentran en estadias transitorias como cambios de ubicación y otros. La conservación breve hasta un año se realiza a los carros de combate con elevado grado de disposición combativa y carros militares de combate previstos para cumplir las maniobras militares anuales.

**Conservación a largo plazo:** Es la conservación por un plazo mayor de un año. Se aplica a los carros previstos para el combate, ubicados en parques techados y Obras soterradas de alta protección. Esto exige una mayor calidad y eficacia de la conservación, así como, para lograr la conservación por mas de cinco años. Para lograr tanto uno como el otro tipo de conservación, se requiere de productos y tecnologías eficaces y adecuadas a las condiciones de almacenamiento de la técnica que no dejan de estar sujetas a las afectaciones e influencia de las condiciones de la atmósfera en los almacenes de las obras de alta protección.

Estudios realizados sobre la resistencia microbiológica de los productos antes mencionados, demuestran que no garantizan la conservación prolongada, pues no sobrepasan los tres meses sin ser afectados microbiológicamente .

El empleo de biocidas es el tratamiento químico por excelencia para el mejoramiento de la resistencia microbiológica de los productos de conservación. Dichas sustancias son compuestos o combinación de estos, que destruyen los microorganismos o eliminan el crecimiento microbiológico. Entre los inorgánicos están: cloro, ozono, bromo, etc. mientras que en el orgánico están: isotiazolina, sales cuaternarios de amonio, aldehídos como glutaraldehído y acroleína.

Los biocidas desde el punto de vista ambiental deben cumplir con las exigencias siguientes: Efectivos (Si eliminan especies sin alterar el desarrollo de otras); Fáciles y seguros de manipular; Biodegradables (Con intermediarios menos tóxicos que los

productos iniciales); Usarlos en cantidades mínimas (Hernández y col.; 1995, Ramos; 1996)

De los planteamientos anteriores se deduce que el empleo de biocidas presenta limitaciones y riesgos. La evaluación realizada a las grasas y otros productos de conservación en los túneles, ha demostrado que sin el empleo de biocidas estas no resisten las condiciones de las obras soterradas.

Para las condiciones de obras soterradas se exige disponer de grasas de conservación que resistan el biodeterioro, fundamentalmente la acción de los hongos, al respecto, no existe aún una respuesta adecuada internacionalmente, ya que los productos formulados en su gran mayoría con este objetivo, contienen sustancias nocivas que contaminan el medio y no son biodegradables .

Una de las principales limitaciones que presentan las grasas de conservación importadas, en las condiciones climáticas de Cuba, es su baja temperatura de goteo, ya que la radiación solar en nuestras condiciones provoca temperaturas sobre la superficie metálica que superan los 70°C y con ello originan el chorreado de las grasas y la desprotección de las estructuras metálicas .

La obtención de grasas de consistencia dura por inmersión en caliente, que son las más indicadas para la protección de piezas, ya que no se requiere el empapelado y garantizan además por el espesor del recubrimiento períodos prolongados de conservación, se han obtenido con anterioridad a partir de la mezcla de grasas semisólidas con parafina o pez rubia.

Sobre esta base se han desarrollado tecnologías propias que responden a patentes, de las cuales se encuentran dos aprobadas: Patente 48/85 y Patente 143/94. (Echeverría, C; 1998). Estas son grasas agrupadas bajo la marca comercial DISTIN que han sido empleadas y evaluadas en varios sectores de la economía nacional con excelentes resultados. Ellas varían en su composición, propiedades y usos, pero tienen en común que son elaboradas con materias primas nacionales, su costo de producción permite ofertarlas en el mercado a precios más ventajosos comparados con los actuales de las grasas de conservación importadas. Además, responden a las exigencias de nuestro clima, pues han sido elaboradas específicamente para que resistan nuestras condiciones.

### **Tecnologías y productos para la conservación de los carros militares en obras de alta protección.**

La conservación de los carros militares se lleva a cabo en los parqueos, talleres, naves y en las obras. Los métodos empleados se describen a continuación:

#### **Métodos de hermetización de los carros almacenados en obras soterradas .**

##### **Método de funda.**

La funda constituye una barrera al polvo y la misma se emplea juntamente con los medios desecantes, ya sean en equipos deshumidificadores o materiales adsorbentes de humedad. Se plantea que este método, si se aplica adecuadamente, garantiza la protección contra el biodeterioro y la corrosión. El mismo se comenzó a aplicar en la primera mitad de la década del 90 y se aplica según las variantes: Funda con secado del aire y Funda con nitrógeno gaseoso.

La primera variante consiste en la introducción de los medios a conservar en el interior de una funda de polietileno de baja densidad, manteniendo el nivel de humedad relativa en el rango establecido mediante un deshumidificador de líquido refrigerante.

Principales ventajas: Permite la hermetización simultánea de varios carros a la vez en una funda colectiva; La funda realiza la función de barrera entre el carro y el ambiente circundante; La hermetización del carro se puede realizar directamente en un lugar de almacenamiento; Garantiza mayores plazos de conservación que los métodos antes analizados; Se puede utilizar para cualquier medio de combate o de aseguramiento logístico.

Desventajas: Se dificultan los trabajos profilácticos por el reducido espacio; Se requiere de medios potentes de secado como los deshumidificadores.

La segunda variante consiste en introducir en una funda de polietileno de baja densidad los medios de combate a conservar por tiempo prolongado, en la cual se crea una sobrepresión de nitrógeno gaseoso, con previa extracción del aire de la funda para reducir al máximo posible el oxígeno presente en el mismo.

La preservación de los medios conservados contra el biodeterioro por dicho método se desarrolló sobre la base de investigaciones realizadas en vehículos almacenados en obras soterradas, las cuales evidenciaron que el mismo resulta efectivo.

### **Método de local (gaveta) hermetizado.**

Este es un método de alta efectividad y consiste en la hermetización de un local (gaveta), mediante la construcción o mejoramiento de puertas y el cierre de cualquier orificio o hendidura en el local. Para esto se utiliza polietileno o telas hermetizantes. Se garantiza el secado dinámico del aire.

Principales ventajas: Constituye una barrera biológica; Es un método efectivo; Permite la conservación de cualquier medio de combate o aseguramiento logístico.

Desventajas: Requiere trabajos constructivos adicionales para garantizar la hermeticidad; Requiere equipamiento adicional para el secado.

Este método resulta muy efectivo para los medios de combate vulnerables a la humedad ambiental de las obras soterradas.

Los métodos de conservación descritos anteriormente, no contemplan la conservación de la estructura metálica (carrocería) de los vehículos o medios especiales, en ninguno de los casos. La mayoría de dicha técnica, importada desde otros continentes o países que no tienen las características climáticas de Cuba, presentan formas estructurales que constituyen problemas de diseño anticorrosivo bajo la influencia de nuestro clima. Las superficies desprotegidas, ya sea en el interior o exterior del elemento estructural del transporte, están expuestas a sufrir las afectaciones por corrosión, ya sea en ambientes interiores de las obras, como en las naves techadas, talleres, parqueos, etc. El grado de deterioro de la estructura metálica de los vehículos dependerá del nivel de agresividad corrosiva del ambiente al que estén expuestos. Pero sin dudas, las pérdidas globales son considerables y los costos por chapistería y reparaciones, son mucho más elevados que aquellos en que se incurre para poner en práctica medidas de conservación para minimizar las pérdidas.

Existe un procedimiento de conservación del transporte, desarrollado en el Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos de la Universidad de Matanzas, con solicitud de patente y registro comercial, para la conservación de las estructuras metálicas, incluyendo la solución a los problemas de diseño anticorrosivo. Este sistema se ha propuesto e implementado, específicamente, para el transporte en explotación. A partir de este se pueden elaborar nuevas tecnologías para la conservación del transporte militar, como se propone en este trabajo.

### **Procedimiento para la conservación del transporte en explotación (DUCAR).**

El servicio DUCAR único de su tipo en Cuba está orientado a elevar la durabilidad de las carrocerías automotrices en explotación, mediante el empleo de tecnologías de conservación más económicas ante la alternativa de reposición por chapistería.

Es un procedimiento de conservación anticorrosiva de carrocerías de vehículos que incluye como primera etapa un estudio de los problemas de diseño anticorrosivo que presenta cada tipo y línea de vehículo, así como los problemas de protección anticorrosiva y con ello se elabora el procedimiento específico (tecnología). Se requiere la aplicación de un procedimiento general anual y de varios procedimientos parciales en función del régimen de explotación del vehículo, la agresividad del medio con el cual se encuentra en contacto, e incluso los productos que transporta o manipula.

La tecnología que se elabora incluye hasta el momento el empleo de cinco productos, especialmente formulados para este servicio, todos producidos en la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas.

De la aplicación de este sistema de forma sistemática se obtienen resultados comprobados de carrocerías de automóviles que no tienen que recibir el mantenimiento estructural (chapistería) en más de 9 años, comprobado además con criterios de expertos que han desarrollado parcialmente este procedimiento.

**El servicio incluye:** Identificación y solución de los problemas de diseño anticorrosivo; Identificación y solución de los problemas de corrosión; Eliminación del óxido y puntos de corrosión; Protección a componentes huecos y áreas cerradas; Protección de partes inferiores del vehículo; Aplicación del recubrimiento impermeabilizante y abrillantador de pinturas; Eliminación de intersticios susceptibles de acumulación de contaminantes agresivos.

**Ventajas:** Conservación adecuada de la carrocería de los vehículos; Alarga la vida útil de la estructura y del vehículo; Durabilidad de 6 a 9 años sin chapistería; Utilización de una amplia gama de productos ofertados a los mejores precios; Rectificación de los errores de diseño anticorrosivos del automóvil; Impermeabilización de las superficies pintadas; Mayor brillo y protección.

### **Diseño anticorrosivo.**

Para que se comprenda la importancia del estudio de los problemas de diseño anticorrosivo del componente estructural de las carrocerías, se hará referencia a algunos ejemplos tomados de la práctica donde se ponen de manifiesto.

**Accesibilidad:** Los criterios de accesibilidad establecen para aberturas entre dos superficies una separación no menor de 50mm y una profundidad no mayor de 100mm para poder efectuar los trabajos de preparación de superficie y protección correspondientes.

Todas las superficies de la estructura que han de ser protegidas deberían ser visibles y encontrarse al alcance del operador mediante un método seguro. Las superficies que van a ser tratadas deberían ser lo suficientemente accesibles como para permitir que el operario tenga un espacio adecuado para trabajar sobre ellas.

Todas las áreas con problemas de accesibilidad, no son por lo general tratadas ni protegidas superficialmente con recubrimientos de pintura, razón por la cual en las

mismas se crean las condiciones para que actúe la corrosión atmosférica. Con frecuencia un área inaccesible se transforma en un componente hueco, como vía de solución se le practican accesos y drenajes para la introducción de los productos.

**Tratamiento de orificios:** Orificios estrechos, hendiduras ciegas y uniones solapadas son lugares potenciales para ser atacados por la corrosión procedente de la retención de humedad y suciedad, incluyendo cualquier abrasivo utilizado durante la preparación de la superficie. La corrosión de este tipo debería normalmente, evitarse mediante el sellado. En los ambientes más corrosivos, el espacio debería llenarse con soldadura de acero que sobresalga alrededor de todas las secciones. Las superficies en contacto deberían sellarse con soldaduras continuas, para prevenir el atropamiento de abrasivos y la entrada de humedad.

**Refuerzos:** El diseño de refuerzos no debería permitir la retención de depósitos, ni agua y debe permitir el acceso para la preparación de la superficie y la aplicación de un sistema de pintura protector.

**Acumulación de depósitos y agua:** Deberían evitarse configuraciones superficiales en las que el agua pueda quedar retenida, y que puedan de este modo, en presencia de materias extrañas, incrementar el potencial de los agentes corrosivos. El diseñador debería también tener en cuenta los posibles efectos de contaminación por descuelgues, por ejemplo, de productos de corrosión de acero suave sobre aceros inoxidable austeníticos, o ferríticos, que puedan provocar la corrosión de estos últimos. Las precauciones apropiadas para conseguir estos objetivos son: Los diseños con superficies inclinadas o biseladas; La eliminación de secciones abiertas en la parte superior o su colocación en posición inclinada; La supresión de cavidades y huecos en los que puede quedar retenida el agua y la suciedad; El drenaje de agua y líquidos corrosivos lejos de la estructura. Hay que considerar además que en aquellos casos donde tenga lugar la acumulación de agua, hay que practicar orificios de drenaje de no existir algunas de las alternativas anteriores.

**Áreas cerradas y componentes huecos:** Las áreas cerradas (interior accesible) y los componentes huecos (interior inaccesible) minimizan la superficie expuesta a la corrosión atmosférica, constituyen una sección especialmente bien adaptada a la protección frente a la corrosión, siempre que se cumpla que: Las áreas cerradas y los componentes huecos expuestos a la humedad superficial, deben estar provistos de aberturas de drenaje, además de estar protegidos de un modo efectivo contra la corrosión; y que las partes cerradas selladas y los componentes huecos sellados deben ser impermeables al aire y la humedad. Con este fin, sus bordes deben sellarse por medio de soldaduras continuas, y cualquier abertura debe estar provista de cubiertas selladas. Durante el ensamblaje de tales componentes, debe ponerse cuidado en asegurar que no quede agua atrapada.

Los productos DISTIN, entre los que se cuentan grasas de conservación, disoluciones de fosfato limpiadoras de óxido, mástiques asfálticos y ceras abrillantadoras, han sido evaluados sobre superficies metálicas por períodos prolongados con muy buenos resultados. En algunos casos de grasas se ha estudiado su resistencia a las condiciones de las obras y se ha comprobado que resisten la contaminación microbiológica y garantizan la protección de las superficies metálicas de acero al carbono, por períodos de prolongados. Las disoluciones de fosfato, superan en muchos casos los usos para

los cuales han sido sugeridos que se resumen a la limpieza y pasivación temporal de la superficie metálica, aún así este sigue siendo su principal uso. De igual forma, el resto de los productos son adecuados a nuestras condiciones climáticas.

### **Nuevo Sistema de Protección Anticorrosivo Estructural DUCAR-FAR**

Esta tecnología, denominada Sistema de Protección Anticorrosivo Estructural DUCAR-FAR, está fundamentada en un estudio de los problemas de diseño anticorrosivo, resultando específico para los carros militares conservados, incluso de diferentes marca, y aunque que se presentan sus diferencias tecnológicas, la aplicación de los cinco productos DISTIN a la estructura del carro militar, impide la aparición de la corrosión durante mas de 10 años.

#### **Pasos tecnológicos para la aplicación de la conservación.**

1. **Elaboración del diagnóstico.**
2. **Desarme de todas las áreas cerradas para facilitar acceso.**
3. **Ejecución de las acciones previstas para atenuar los problemas de diseño anticorrosivo para que no ocurra la corrosión.**
4. **Eliminación de puntos de corrosión mediante disolución de fosfatado DISTIN 504.**
5. **Atomización de grasa líquida tipo solvente DISTIN 305L.**
6. **Colocación de todas las partes desarmadas.**
7. **Aplicación del recubrimiento impermeabilizante y abrillantador de pintura DISTIN 603L.**

#### **CONCLUSIONES.**

Como conclusiones podemos señalar que para el Sistema de Protección Anticorrosivo Estructural DUCAR-FAR, se tomo como base la experiencia del Procedimiento DUCAR en los carros en explotación que durante muchos años a demostrando su factibilidad de aplicación. La aplicación del Sistema de Protección Anticorrosivo Estructural DUCAR-FAR en los carros militares conservados, mantiene un alto grado de disposición para el combate, incrementa los plazos de reconservación a 10 años o más y por lo tanto se disminuye el gasto de recursos materiales y financieros. Con la aplicación del Sistema de Protección Anticorrosivo Estructural DUCAR-FAR en los carros militares conservados bajo techo, se puede lograr hasta 15 años sin que aparezca corrosión perforante.

#### **ANEXOS:**

**Tabla 1.3. Relación cloruro/sulfato en productos de corrosión y en contaminantes atmosféricos.**

Ensayos en Venezuela	Contaminantes de probetas			Contaminación por Norma ISO/DIS 9225		
	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Barcelona	150	17.3	8.70	23.12	2.38	9.67
Pto. Cabello	242	33.0	7.30	21.30	2.17	9.80

**Tabla 1.4: Determinación de cloruros y sulfatos en Estación de Ensayo de Colombia. Relación cloruro/sulfato.**

Estación de Ensayo	mg Cl <sup>-</sup> /m <sup>2</sup> ,día	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /m <sup>2</sup> día	Cl <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Isla Naval Colombia	64	15.45	4.78

**Tabla 1.5. Niveles de agresividad de las obras soterradas.**

No	Nivel	Obra soterrada	Magnitud
1.	1er nivel	Túnel s/ ventilación y cueva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión-60g/ m2 año</li> <li>• HR media-90-95%</li> </ul>
2.	2do. Nivel	Túnel c/ ventilación forzada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión-20-35g/m2 año</li> <li>• HR media-85-89%</li> </ul>
3.	3er nivel	Silos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosión-15-20g/m2año</li> <li>• HR media- 80-85%.</li> </ul>

Table 1.6.- Corrosivity of the test stations (C) and exposure conditions for carbon steel, aluminium, copper and zinc based on the classification of pollution by airborne salinity (S) and sulphur compounds (P), time of wetness ( $\tau$ ) according to ISO 9223 [16].

Metal	Rural				Coastal			Urban-Industrial	
	Outdoor	Sheltered	Ventilated Shed	Closed Space	Outdoor	Sheltered	Ventilated Shed	Outdoor	Sheltered
	S <sub>1</sub> P <sub>1</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>1</sub> P <sub>1</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>0</sub> P <sub>0</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>0</sub> P <sub>0</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>3</sub> P <sub>2</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>3</sub> P <sub>2</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>1</sub> P <sub>0</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>1</sub> P <sub>1</sub> $\tau$ <sub>4</sub>	S <sub>1</sub> P <sub>1</sub> $\tau$ <sub>4</sub>
Steel	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
Al	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
Cu	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>
Zn	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>

Table 1.7.- Corrosion rates of steel (g/m<sup>2</sup>a) for the different stations, exposure conditions and exposure time.

Exposure Period (months)	RURAL				COASTAL			URBAN-INDUSTRIAL	
	Outdoor	Sheltered	V. Shed	Closed S.	Outdoor	Sheltered	V. Shed	Outdoor	Sheltered
6	216.7	181.4	77.2	12.5	2309.3	615.2	213.4	465.9	231.2
12	223.6	175.1	58.6	3.5	3566.2	1127.9	209.7	345.0	252.7
18	172.2	*	51.6	2.4	**	1007.1	230.2	246.3	197.1

## **Bibliografía.**

Corvo, F. Estudio de la corrosión atmosférica en el clima tropical húmedo de Cuba. Tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias. (1980).

Echeverría, C. La corrosión atmosférica del acero y la protección temporal de los centrales azucareros en la provincia de Matanzas. Tesis de opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Matanzas. (1991).

Echeverría, C. A. y col. Corrosión Atmosférica del Acero en Condiciones Climáticas de Cuba: Influencia del Aerosol Marino. ISBN: 959 – 16 – 0188 – 3. 32 p. (monografía). (2002). <http://monografias.umcc.cu>

López, I; Echeverría, C; Afonso, J. Influencia del aerosol marino en dos estaciones de ensayo en la provincia de Matanzas. Evento Internacional ANTICORROSION'2001. ISBN 959 – 16 – 0190 – 5, año 2002. T 28. (2001).

López, I; Echeverría, C. Corrosión atmosférica en obras de alta protección en Matanzas. Monografía. ISBN 954 – 16 – 0295 – 8. (2005).  
<http://monografias.umcc.cu>

Méndez, O . Explotación de los sistemas transitorizados de encendido en condiciones tropicales. Tesis de grado a Doctor en ciencias Técnicas (1987)

