

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|       |                     |
|-------|---------------------|
| FECHA | 21 de Enero de 2005 |
|-------|---------------------|

|            |   |
|------------|---|
| AUTOR (ES) | SILVA QUINTERO, Luz Andrea; CÓRDOBA PRIETO, Hector Iván y GARCÍA LANCHEROS, Luis Miguel.  |
| TÍTULO     | ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS PARA AVIONES DASH8-100 Y AJUSTE DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LA EMPRESA AIRES S.A. |

|                 |  |
|-----------------|--|
| PALABRAS CLAVES | Corrosión, Programa de mantenimiento, Análisis estadístico, Puntos críticos, Diagrama de Pourbaix, Pueba de cámara de inmersión, Velocidad de corrosión, Condiciones atmosféricas, Humedad relativa, Condiciones de pista, Intervalos de mantenimiento, Uso de inhibidores |
|-----------------|--|

|             |   |
|-------------|---|
| DESCRIPCIÓN | <p>Los materiales empleados en la construcción aeronáutica tienden a reaccionar en mayor o menor medida frente a los contaminantes de la atmósfera, los cuales se proyectan de acuerdo con unas normas técnicas que tienden, en todos los casos, a reducir el peso de la aeronave con el fin de que vuele la máxima distancia posible, con la mayor carga de pago y el consumo mínimo de combustible. Todo ello obliga a mantener el peso estructural a un mínimo, de manera que cada centímetro cuadrado de material soporte su carga máxima de trabajo.</p> <p>El resultado de la corrosión es que el metal se transforma y se convierte en óxidos, carbonatos, sales, etc, es decir, algo distinto al metal base, el cual será incapaz de soportar la carga que previamente tenía asignada.</p> <p>De esta manera se hace fundamental contar con un plan para el control de la corrosión respaldado en cálculos matemáticos y pruebas a los materiales usados en las aeronaves que permitan de una manera confiable emitir juicios sobre el comportamiento de este fenómeno, y de los cuales se pueda llegar a conclusiones sobre su adecuado control.</p> <p>Los resultados obtenidos se implementarán mediante la modificación del programa de mantenimiento, reduciendo los intervalos de inspección de ser necesario, o en su defecto agregando nuevas tareas a los paquetes de mantenimiento que se están usando actualmente.</p> |
|-------------|---|

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|                        |
|------------------------|
| FUENTES BIBLIOGRÁFICAS |
|------------------------|

AIRCRAFT MAINTENANCE TECH INC (AMT). Curso de inspección visual. Miami. Septiembre de 2005.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND METEIRALS ASTM. Prueba de rocío de sal (neblina). Norma B117. Noviembre de 1985. Filadelfia: anual book of ASTM stantards. Volumen 1.

CHAMPION, Frederick Alfred. Ensayos de corrosión. España: Ulmo. Segunda edición. 1970.

DEHAVILLAND INC. Corrosion Prevention and Control Manual (CPCM), Ontario, Canadá. Noviembre 8 de 1993.

DEHAVILLAND INC. DASH8-100 AIRCRAFT. Maintenance manual (AMM). Canada.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Advisory Circular (AC) 43-4A. USA: U. S. Goverment Printing Office. Julio 25 de 1991.

IDEAM. Índice anual de temperaturas y humedades relativas para diferentes ciudades del territorio colombiano. Bogotá, Colombia. 2005. (Internet).

L. L. SHREIR, R. A. JARMAN Y G. T. BURSTEIN. Corrosion Metal / Enviroment Reactions. Gran Bretaña: Betterworth Hethermann. Tercera edición. Volumen 1. 1994.

L. L. SHREIR, R. A. JARMAN Y G. T. BURSTEIN. Corrosion control. Gran Bretaña: Betterworth Hethermann. Tercera edición. Volumen 2. 1994.

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. Aeronavegabilidad. Anexo 14. OACI. Décima edición. Abril de 2005.

MICROSOFT CORPORATION. Enciclopedia Encarta 2005.

ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL. Aeródromos. Diseño y operación de aeródromos. Anexo 14. volumen1. OACI. Segunda edición. Julio de 1995.

PUBLICACIÓN DE INFORMACIÓN AERONÁUTICA, AIP. Departamento administrativo de aeronáutica civil. Servicio de información aeronáutica AIS. Bogotá, Colombia

REGLAMENTOS AERONÁUTICOS DE COLOMBIA. Cuestiones preliminares, disposiciones iniciales, definiciones y abreviaturas. Parte 1. RAC. Séptima actualización. Septiembre de 2003.

REGLAMENTOS AERONÁUTICOS DE COLOMBIA. Normas de aeronavegabilidad y operación de aeronaves. Parte 4. RAC. Séptima actualización. Septiembre de 2003.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

ROBERGE, Pierre R. Handbook of corrosion engineering. USA: McGraw Hill. 1999. ISBN 0-07-076516-2.

SERVICIO DE TRANSITO AÉREO (ATS). Normas ATS. Departamento administrativo de aeronáutica civil. Servicio de información aeronáutica AIS. Bogotá, Colombia: Legis. 2005.

TALBOT, David y TALBOT, James. Corrosion science and Technology. USA: CRC Press. 1998. ISBN 0-8493-8224-6

THE BOEING COMPANY. Corrosion prevention and control (460). USA. Julio 1ro de 1994.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|  |
|--|
| CONTENIDOS   |
| <p>El objetivo principal del proyecto es rediseñar las frecuencias de los trabajos de corrosión a realizar, con base en un análisis estadístico de la aeronave, con el fin de personalizar la prevención de la corrosión en casos específicos para nuestro medio de operación.</p> <p>Para lograrlo se llevan a cabo los siguientes pasos:</p> <p>EL mantenimiento. El mantenimiento es un conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que éstos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.</p> <p>Filosofía del mantenimiento. Los costos de mantenimiento relacionados con la corrosión no pueden ser evitados. La falla de implementar un programa de control de corrosión e ignorarla, solo pospone el día del suceso. Los gastos están incrementando actualmente, por la falta de toma de acciones y la omisión del trabajo, inevitablemente resultará en reparaciones más extensas, la alta probabilidad de tiempo en tierra y la certeza de la degradación en la integridad estructural de la aeronave.</p> <p>En teoría, la última meta de un buen programa de control de corrosión podría ser la eliminación completa de la corrosión del avión.</p> <p>En la práctica, como la estructura del avión es compleja y muchos aspectos del ambiente operacional están mas allá del control de los operadores, la anulación total de la corrosión no es económicamente posible.</p> <p>No obstante, la experiencia ha demostrado que un programa extenso de prevención de corrosión es la aproximación más satisfactoria y económica sobre la vida de operación de la aeronave.</p> <p>El programa de prevención de corrosión puede ser flexible, así que este puede ser modificado para reflejar cambios en las condiciones operacionales y la experiencia en el servicio.</p> <p>Un programa extenso incluirá lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lavado para remover la contaminación.</li><li>• Limpieza del interior para asegurar que las rutas de drenaje y las válvulas están abiertas.</li><li>• Limpieza puntual de contaminantes, como mercurio, álcali, ácidos u otra clase de químico derramado, y remoción rápida de material de extinción de fuego y residuos de quemado.</li><li>• Aplicación y llenado de lubricantes, mezclas de remoción a base de agua y otros inhibidores de corrosión.</li><li>• Inspección minuciosa, la cual identificará condiciones que conducen al</li></ul> |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

ataque de la corrosión tales como agrietamiento del acabado superficial, antes de que la corrosión empiece a atacar, y localización de corrosión en una etapa temprana, así que las acciones correctivas pueden ser tomadas antes de los costos de reparación o reemplazos de partes o componentes si llega a ser necesario.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE MANTENIMIENTO

Se realizó un estudio de los reportes de mantenimiento generados por la detección de corrosión en las aeronaves de matrículas HK 3942, HK 3946 y HK 4258, desde el año 1994 para los dos primeros y 2002 para el último, hasta Agosto de 2004. A continuación se estableció un sistema de calificación para poder clasificarlos de acuerdo a la acción correctiva que se realizó, que depende de la gravedad de la corrosión encontrada, como se describe en la tabla 1.

**Tabla 1. Lista de factores relevantes y calificación**

| Calificación (Tipo) | Acción correctiva usada  |
|---------------------|--|
| 1                   | No se encontró ningún tipo de daño   |
| 2                   | Daño encontrado y no se toma acción correctiva   |
| 3                   | Eliminación de la corrosión por medio de lijado y se aplican inhibidores de corrosión.                               |
| 4                   | Cambio de elementos de sujeción y eliminación de corrosión por medio de lijado, se aplican inhibidores de corrosión. |
| 5                   | Cambio de la pieza afectada  |

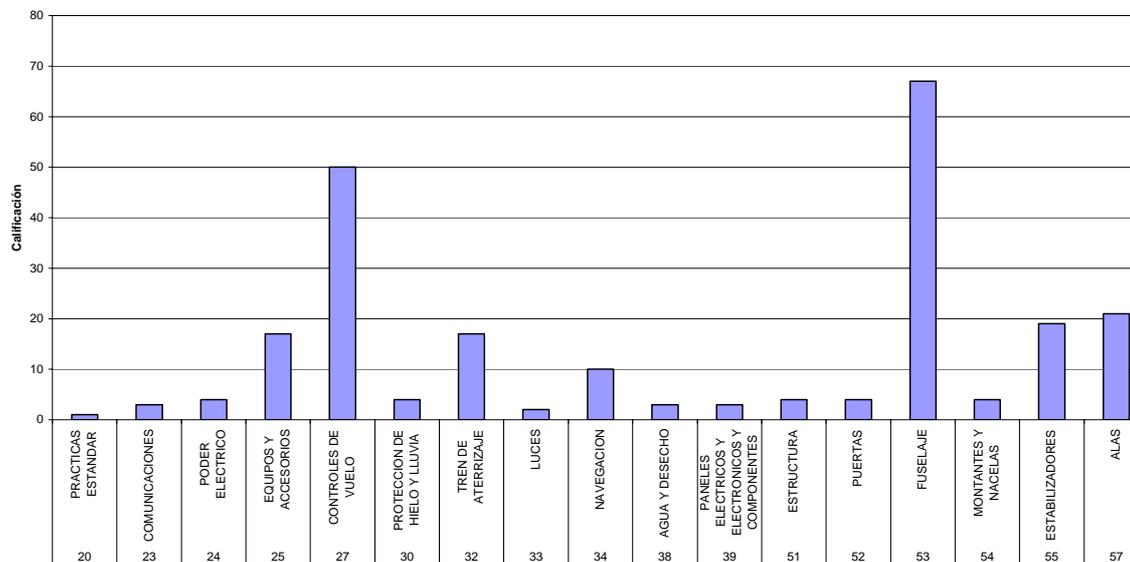
El sistema de calificación se basa en el método cualitativo por puntos en el cual a partir del desarrollo de una lista de factores relevantes (Tabla 1), se asignó una escala de 1 a 5 y se califica cada reporte de acuerdo a la escala.

En la segunda parte del análisis se estudian todas las áreas de las aeronaves, por número ATA, registradas en los reportes para luego seleccionar las zonas que más han generado problemas. Los resultados obtenidos para cada uno de los aviones se presentan a continuación.

En la Figura 1 se puede observar muy claramente que para el avión HK 3942 las zonas más significativas son las correspondientes al fuselaje (ATA 53), los controles de vuelo (ATA 27) y las alas (ATA 57) respectivamente. El promedio de calificación de las zonas, mostrado en la Figura 66, es igual a 13.7

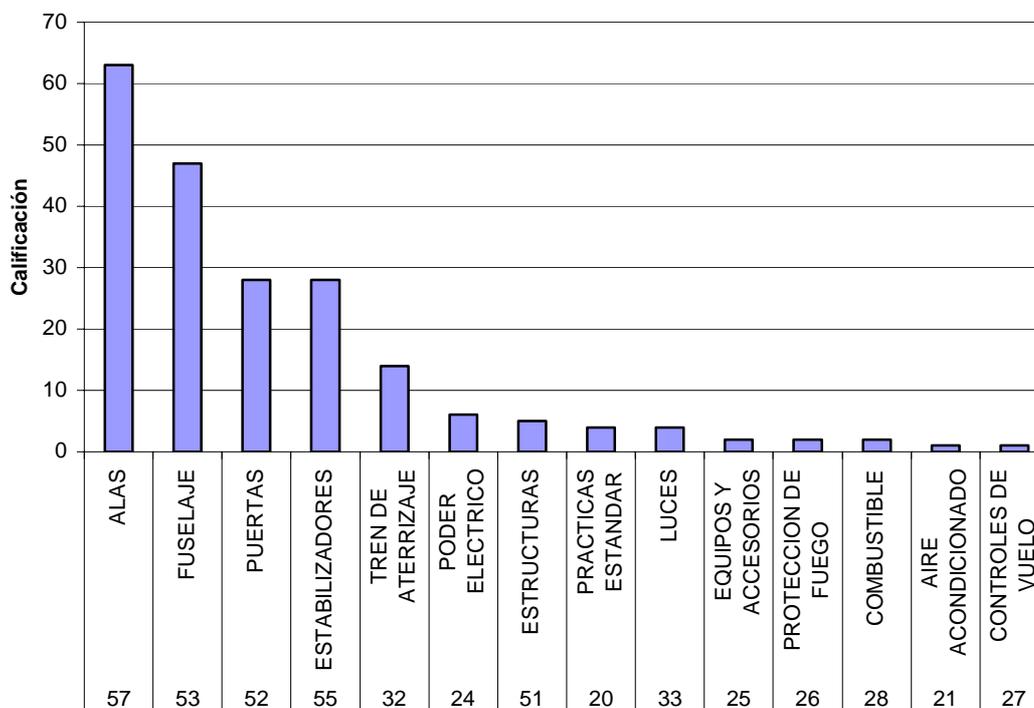
|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 1. Calificación por zonas HK 3942**



La aeronave HK 3946 presenta en la zona de las alas (ATA 57) la mayor calificación, seguida por el fuselaje (ATA 53), puertas (ATA 52), estabilizadores (ATA 55) y tren de aterrizaje (ATA 32); las correspondientes al aire acondicionado (ATA 21) y controles de vuelo (ATA 27) son las de menor calificación (figura 2).

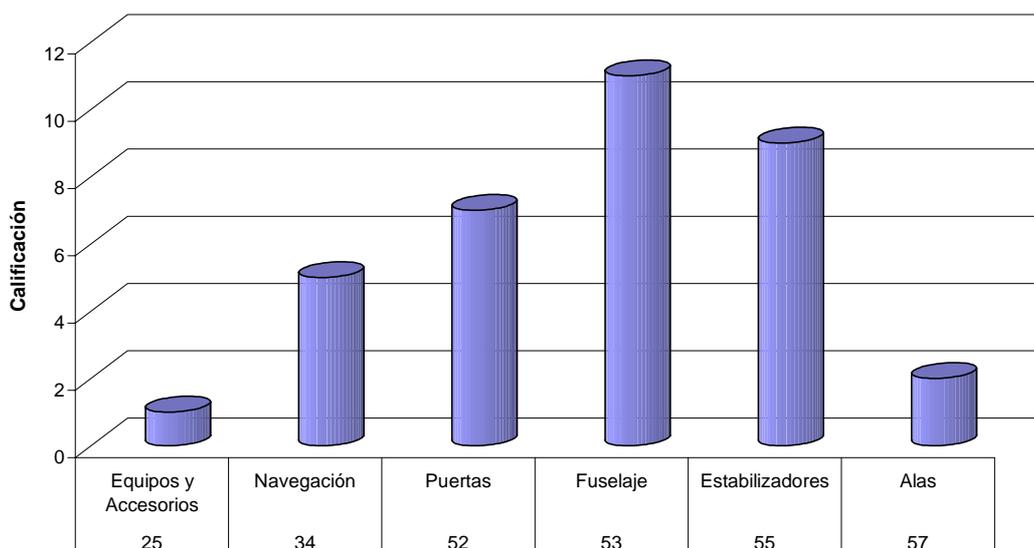
**Figura 2. Calificación por zonas HK 3946**



|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

El avión HK 4258 registra la menor cantidad de reportes con un total de 23 divididos en 6 zonas, la calificación para cada una de ellas se muestra en la figura 3.

**Figura 3. Calificación por zonas HK 4258**



Puesto que el análisis se enfoca en la flota de aviones Dash8-100 de la empresa AIRE S.A., para el estudio de las zonas críticas se sumaron las calificaciones de cada tipo de reporte de las tres aeronaves para todas las zonas afectadas. El total de reportes generados en los tres aviones es de 225; en la Tabla 2 se pueden observar los resultados de la calificación para la flota.

**Tabla 2. Calificación por zonas para la flota**

| Numero ATA | Zona                 | Calificación total |
|------------|----------------------|--------------------|
| 53         | FUSELAJE             | 125                |
| 57         | ALAS                 | 86                 |
| 55         | ESTABILIZADORES      | 56                 |
| 27         | CONTROLES DE VUELO   | 51                 |
| 52         | PUERTAS              | 39                 |
| 32         | TREN DE ATERRIZAJE   | 31                 |
| 25         | EQUIPOS Y ACCESORIOS | 20                 |
| 34         | NAVEGACION           | 15                 |
| 24         | PODER ELECTRICO      | 10                 |
| 51         | ESTRUCTURAS          | 9                  |
| 33         | LUCES                | 6                  |
| 20         | PRACTICAS ESTANDAR   | 5                  |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|    |                              |   |
|----|------------------------------|---|
| 30 | PROTECCION DE HIELO Y LLUVIA | 4 |
| 54 | MONTANTES Y NACELAS          | 4 |
| 23 | COMUNICACIONES               | 3 |
| 38 | AGUA Y DESECHO               | 3 |

|    |   |   |
|----|---|---|
| 39 | PANELES ELECTRICOS Y ELECTRONICOS Y COMPONENTES MULTI-PROPOSITO | 3 |
| 26 | PROTECCION DE FUEGO   | 2 |
| 28 | COMBUSTIBLE   | 2 |
| 21 | AIRE ACONDICIONADO  | 1 |

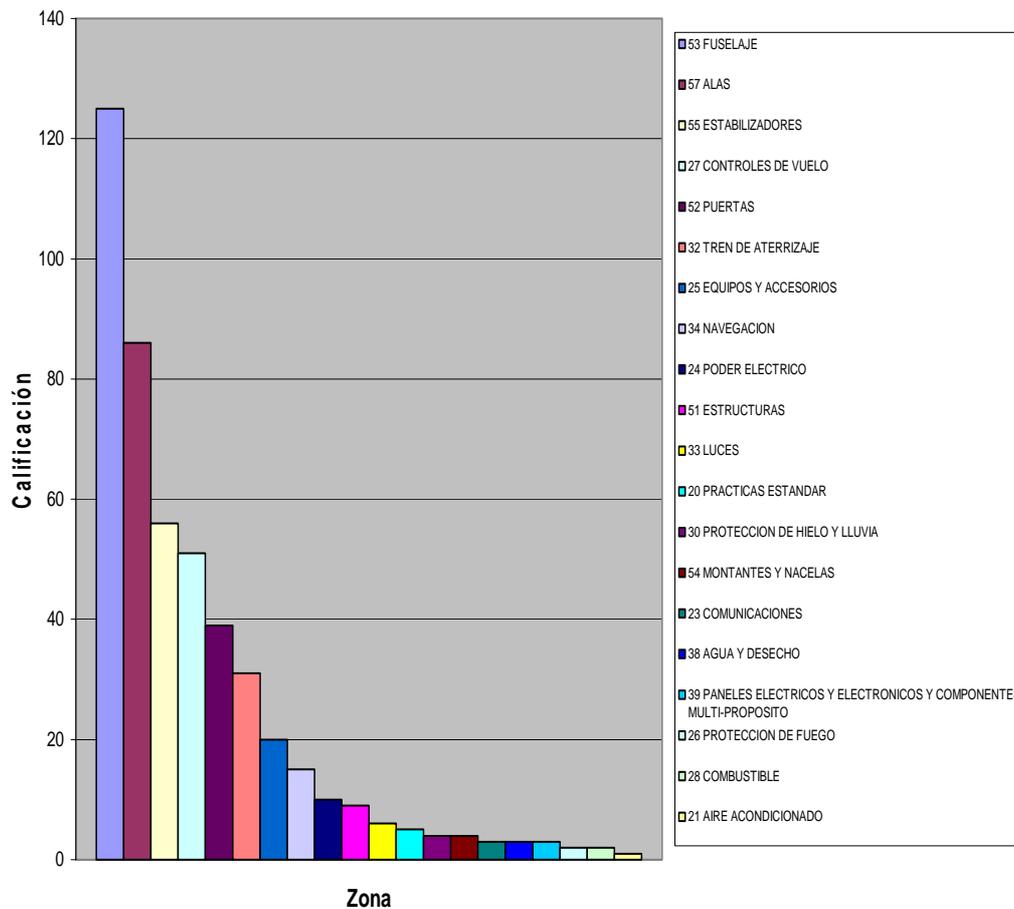
Las seis zonas que presentan las mayores calificaciones son escogidas como las críticas, en las cuales se enfatiza en la búsqueda de puntos específicos en los que los problemas relacionados con la corrosión son repetitivos y afectan la integridad física de los componentes donde esta se presenta. En la Figura 4 se puede observar de forma gráfica la calificación total para todas las zonas.

Las seis zonas más críticas fueron, en orden descendente, fuselaje, alas, estabilizadores, controles de vuelo, puertas y tren de aterrizaje. El promedio de calificación de la flota es de 23.8, estando todas las zonas críticas por encima.

Para la selección de las partes o componentes más críticos de la flota, se tienen en cuenta los reportes de tipo 2, 3, 4 y 5 que se efectuaron en las seis zonas críticas de la flota. Los componentes y zonas seleccionados fueron los paneles de acceso 624AT, 624BT, 624CT, 524AT, 524BT y 524CT, ubicados en la parte superior de las alas; la zona de los rieles y partes móviles de los flaps #4 y #5, los rieles de las sillas, la zona debajo del piso desde la estación X182 hasta X600 entre los stringer 23P a 23S, la zona de los protectores de hielo (ice shields) izquierdo y derecho, la puerta de pasajeros con la estructura que la rodea, la zona del rudder y estabilizador vertical, y el elevador. El total de reportes para estas zonas es de 57; en la Tabla 3 está cada uno de los puntos críticos con su respectiva calificación, en orden del más crítico al que obtuvo menor calificación, y en la Figura 5 se ilustran estos resultados en un diagrama de barras.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 4. Calificación por zonas para la flota**

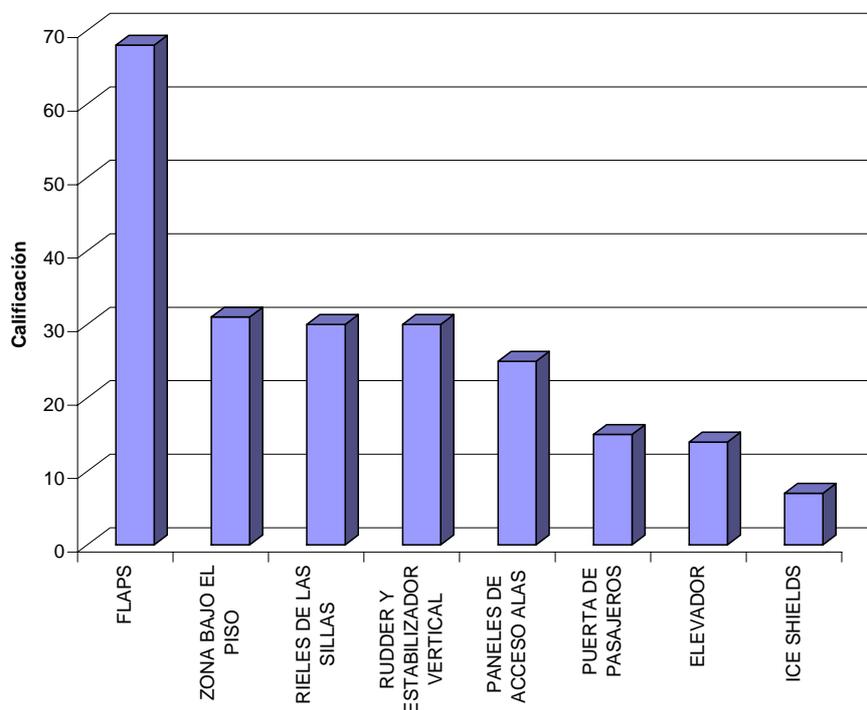


**Tabla 3. Calificación y número de reportes para los puntos críticos**

| Zona                            | Calificación | Numero de reportes |
|---------------------------------|--------------|--------------------|
| Flaps                           | 68           | 14                 |
| Zona bajo el piso               | 31           | 10                 |
| Rieles de las sillas            | 30           | 7                  |
| Rudder y estabilizador vertical | 30           | 8                  |
| Paneles de acceso alas          | 25           | 8                  |
| Puerta de pasajeros             | 15           | 4                  |
| Elevador                        | 14           | 4                  |
| Ice shields                     | 7            | 2                  |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 5. Calificación de los puntos críticos**



## ANÁLISIS DE RUTAS DE VUELO

Donde se involucra el uso de metales deben considerarse las propiedades mecánicas, físicas y químicas, bajo este concepto se puede asegurar que tanto las propiedades físicas como mecánicas pueden expresarse en términos de constantes, sin embargo las propiedades químicas de un metal dependen completamente de las condiciones del ambiente específico que prevalecen durante el servicio. La importancia relativa de las propiedades mecánicas, físicas y químicas dependerá del caso específico de aplicación del metal.

Mientras un metal o aleación puede ser usualmente seleccionado bajo las bases de sus propiedades mecánicas y físicas, la realidad demuestra que existen pocas aplicaciones donde el hecho de la interacción del metal con su ambiente puede ser completamente ignorado, sin embargo la importancia de esta interacción puede variar significativamente de acuerdo a las circunstancias.

**Aeropuertos y Pistas.** Con el fin de valorar la calidad de los aeródromos en los cuales el operador realiza sus vuelos y evaluar la posibilidad de la pérdida de recubrimientos debido a los sedimentos desprendidos de las pistas, que golpean la parte inferior del fuselaje, se investigó la calidad de los pavimentos con el fin de cuantificar la probabilidad de este tipo de sucesos.

**Mapa de rutas.** El análisis de rutas se desarrolló a partir de la necesidad de conocer el ataque del ambiente sobre las aeronaves de la flota, y con esto llegar a conclusiones que permitiesen apoyar decisiones a tomar sobre las

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

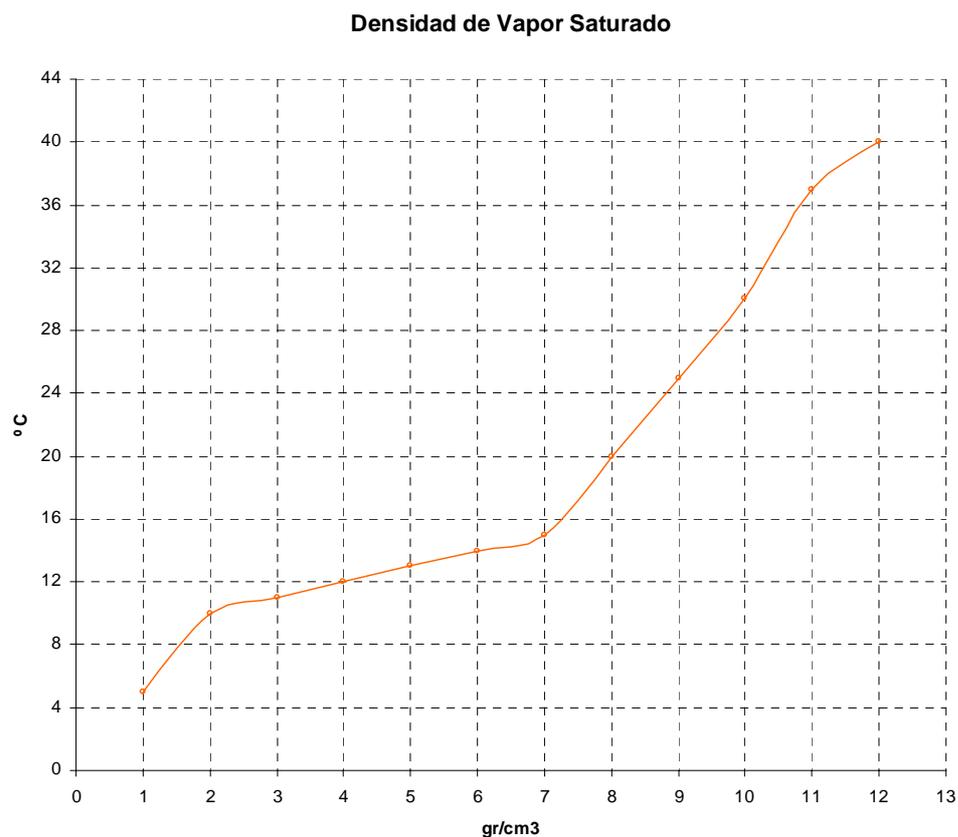
modificaciones en el plan de mantenimiento y realizar un análisis de posibles causas, que debido al ambiente, influyen en la propagación de corrosión.

Humedad Absoluta. A partir de los perfiles de humedad relativa y temperatura se puede calcular la concentración real de vapor de agua en una unidad de volumen de aire usando la grafica mostrada en la Figura 6, la cual representa la densidad de vapor saturado, es decir, los valores de saturación máxima de vapor de aire a determinadas temperaturas.

$$Humedad_{Absoluta} = \frac{Humedad_{Relativa} * \rho_{Vapor_{Saturado}}}{100}$$

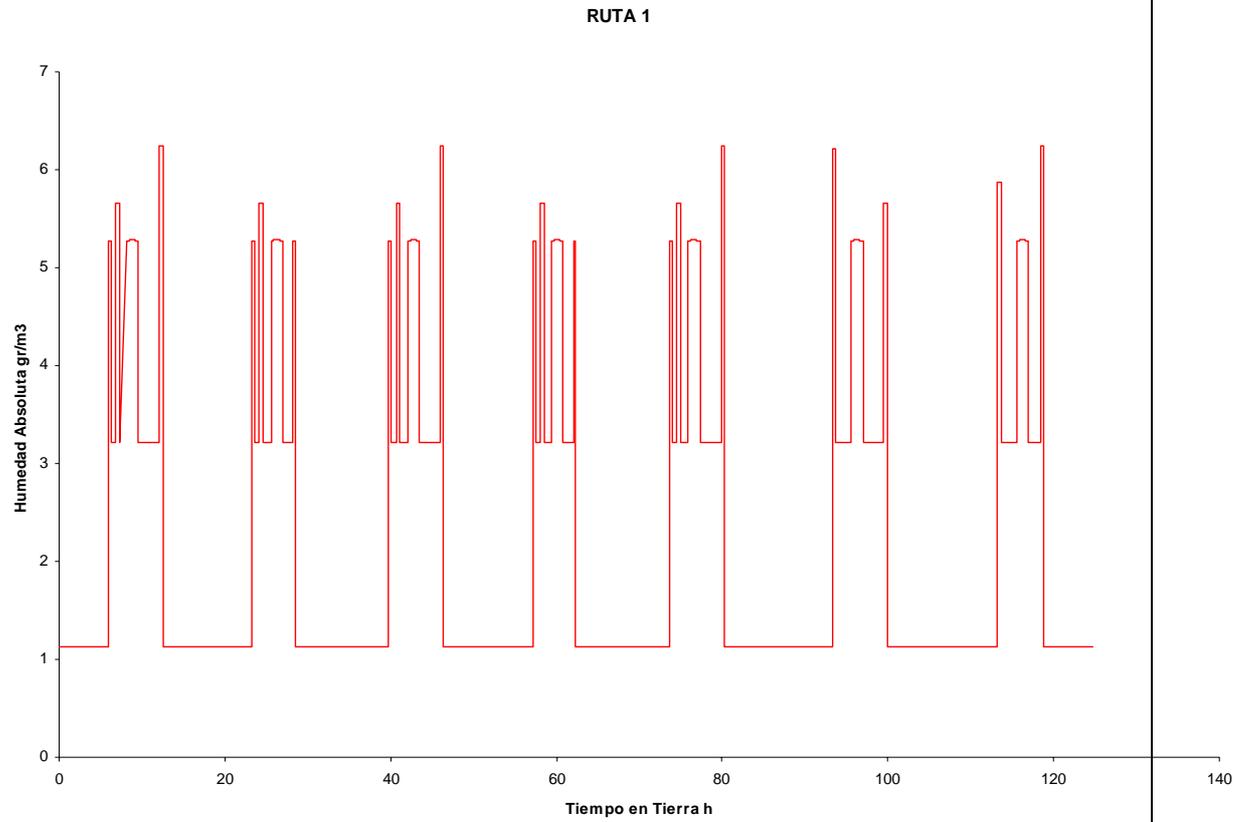
Esta formula demuestra la interdependencia de la temperatura y la humedad absoluta en el valor de humedad relativa, debido a esto lugares con valores promedio de humedad relativa pueden contener gran cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire, que en sí es lo que afectará a la aeronave.

**Figura 6. Densidad de Vapor Saturado**



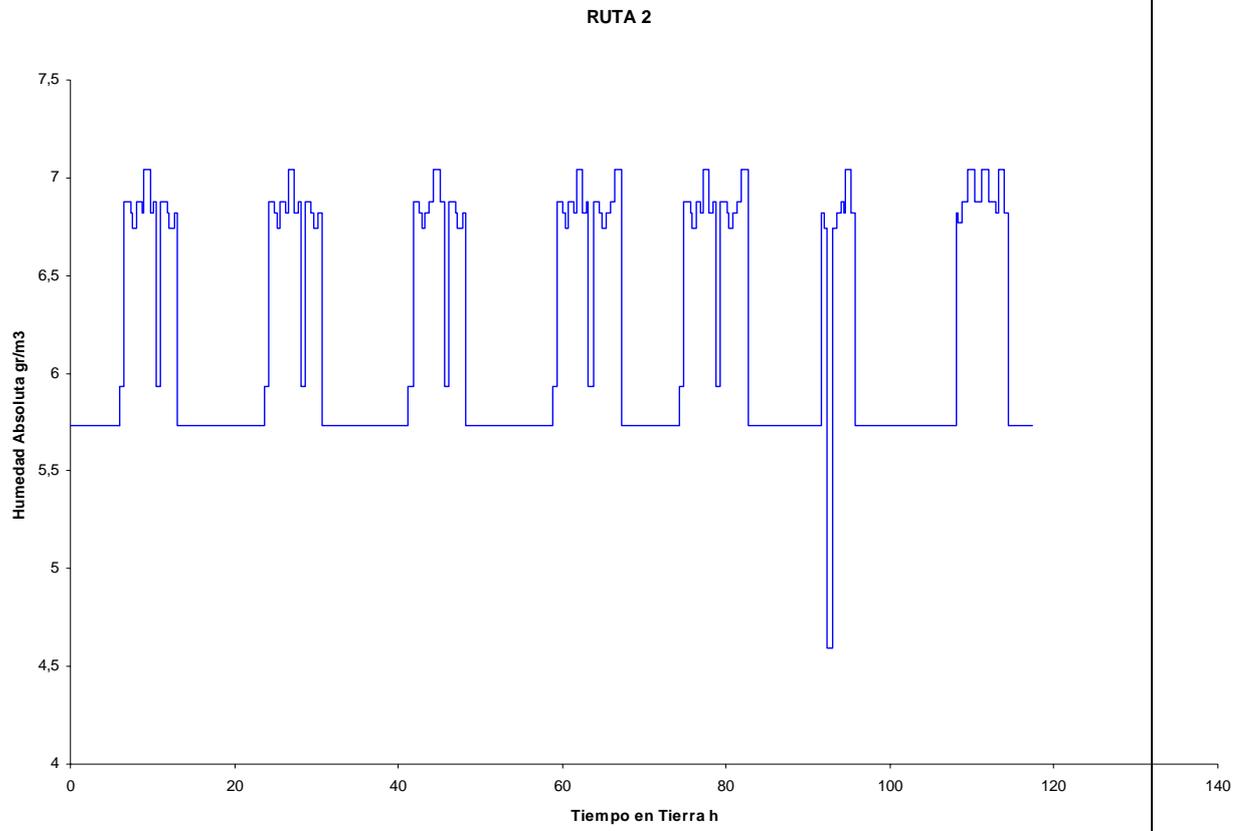
|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Figura 7. Humedad absoluta ruta 1



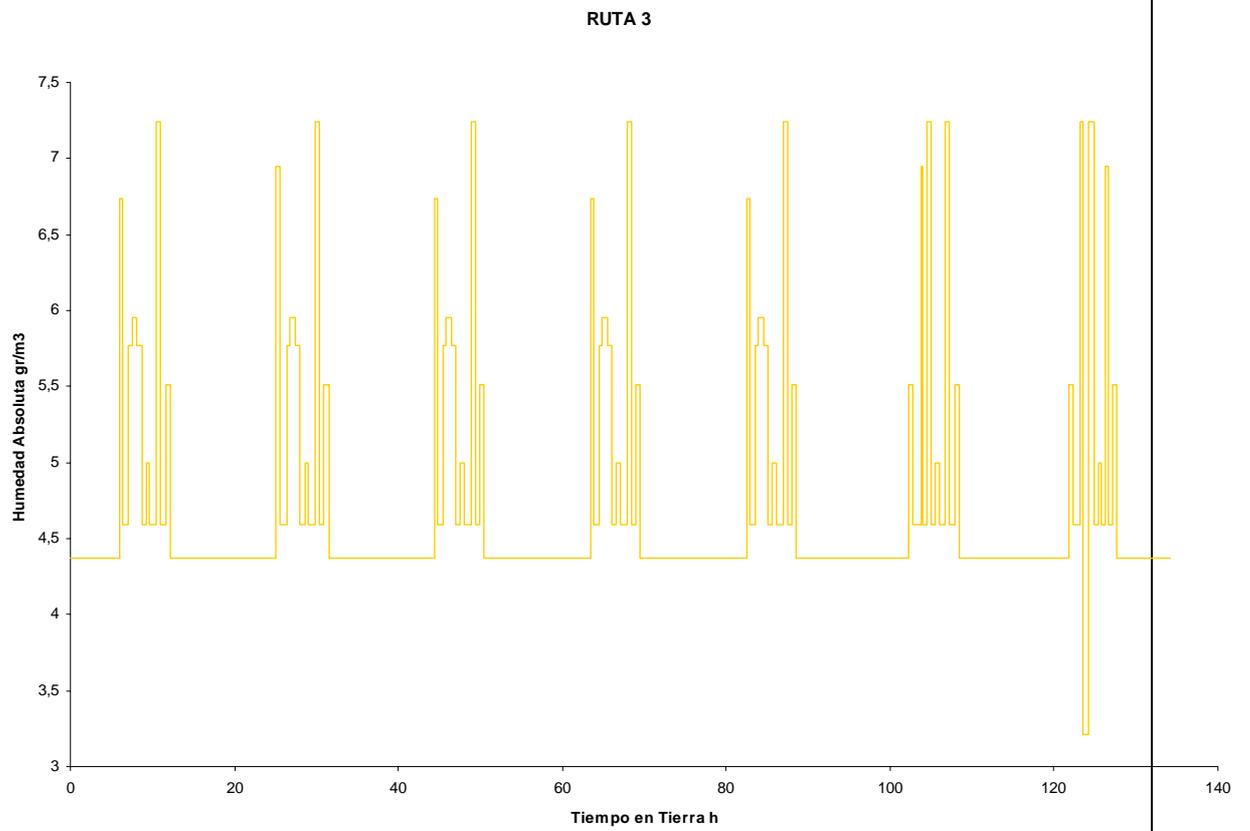
|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Figura 8. Humedad absoluta ruta 2



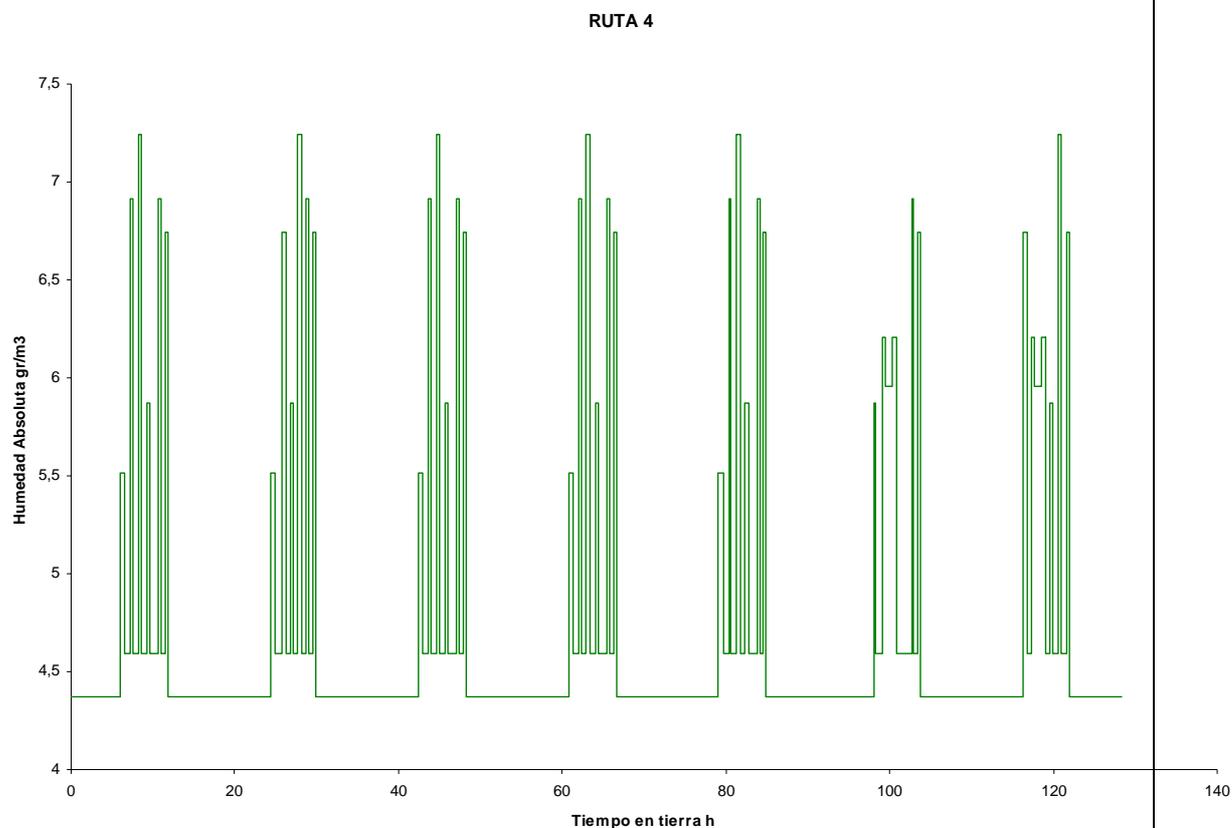
|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Figura 9. Humedad absoluta ruta 3



|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 10. Humedad absoluta ruta 4**



En la figuras anteriores se observa que la humedad absoluta para las cuatro rutas está por debajo de  $7.5 \text{ gr/cm}^3$  y es mayor en las ciudades más calurosas, puesto que el aire se satura con una mayor cantidad de vapor de agua, produciéndose un ambiente capaz de conducir corriente fácilmente, o un ambiente más conductivo, facilitando así una propagación de corrosión. Si a esto se le suma la presencia de sal en lugares cercanos a la costa, se tienen ambientes de operación y de mantenimiento propicios para la formación de corrosión.

### **CALIDAD Y MANEJO AMBIENTAL**

El manejo de los productos usados en las aeronaves es muy delicado, ya que una mala aplicación de un inhibidor o de un recubrimiento en lugar de proteger, podría ser peor que si el material estuviera sin protección puesto que se generan zonas catódicas y anódicas, o una carga de diversos materiales incompatibles puede llegar a interrumpir el buen funcionamiento de la aeronave, disminuyendo su integridad y calidad estructural.

El estudio de los productos usados en la flota de aviones Dash8-100 brindará una noción acerca de los materiales y productos más apropiados a la hora de ser usados y aplicados en la estructura de la aeronave de tal manera que no se vea afectada ni comprometida su integridad.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Sugerencias del uso de productos e inhibidores de corrosión. El estudio de la corrosión es esencialmente el estudio de la naturaleza de los productos de las reacciones de los metales y su influencia en la velocidad de reacción. Es evidente que el comportamiento de los metales y las aleaciones dependen de la solubilidad, estructura, espesor, adherencia, etc., de los compuestos sólidos del metal que se forman durante la reacción de corrosión. Esto se puede formar naturalmente por reacción con su medio ambiente (durante el procesamiento del metal y/o durante exposiciones subsecuentes) o como resultado de un proceso que es usado para producir capas gruesas o para modificar la naturaleza de capas existentes.

En general, las reacciones de los productos se pueden formar bajo las siguientes condiciones ambientales:

1. Reacción directa con un gas (oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidróxido de sulfuro, etc.).
2. Reacción directa con una solución acuosa con la formación de una capa delgada invisible (pasivación) o de corrosión visible (protector o no protector).
3. Por la formación deliberada de capas de óxido gruesas (anodizado) a potenciales elevados o por el cambio en la naturaleza de capas existentes por tratamientos químicos (cromatado o fosfatado).

La sugerencia del uso de productos se desarrolla de acuerdo a las características de compatibilidad entre el producto y el material en el cual se va a aplicar. En lo posible se debe tratar de usar productos que sean lo más compatibles posibles con los materiales estructurales de la aeronave, además hay que tener cuidado especial en las sugerencias del fabricante al comprarlo y sobre todo al usarlo, ya que su incompatibilidad causaría una falla del material con una consecuente disminución de la confiabilidad del producto y de la integridad de la estructura de la aeronave.

Pasos para minimizar la corrosión por el uso de inhibidores. La práctica de inhibición de corrosión requiere que las superficies o componentes a inhibir tengan un fácil acceso a la superficie metálica. Por consiguiente, las superficies deberían ser limpiadas y no contaminadas con grasa, aceite, productos de corrosión, agua, escalas de dureza, etc. Además, se debería tener cuidado para evitar la presencia de depósitos de partículas sólidas, por ejemplo piedras o materiales de construcción. Todas estas condiciones son un poco difíciles de alcanzar, pero hay muchos casos en donde las condiciones adecuadas no son dadas y no se hace una preparación correcta de los componentes o piezas que van a recibir el tratamiento inhibitor. Para estos casos se recomiendan tratamientos ácidos (3 al 5% de ácido cítrico), con o sin limpiadores detergentes, son recomendados y adoptados frecuentemente para la limpieza de sistemas antes de inhibirlos. Sin embargo no siempre es tenido en cuenta que estos tratamientos no removerán partículas de material cuando éste es insoluble en ácidos.

Incluso con los procedimientos adecuados de limpieza, es necesario asegurarse de que el inhibidor alcanzará todas las partes y las superficies del

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

material que se va a proteger. Se debe tener cuidado especial con aquellos sistemas que son llenados con algún tipo de líquido, con las regiones hendidas o con cavidades sin salida ya que pueden hacer contacto con el inhibidor.

Los inhibidores deben ser escogidos después de haber tomado en cuenta la naturaleza y las combinaciones de los metales presentes, la naturaleza del ambiente corrosivo y las condiciones de operación tales como temperatura, transferencia de calor, flujo y humedad.

Las concentraciones de los inhibidores deben ser chequeadas con una base regular y si hay pérdida debe ser restaurada con los aditivos apropiados para cada tipo de inhibidor.

En lo posible, deben ser empleadas algunas de las formas de monitoreo continuo, aunque los resultados de los aparatos de monitoreo como sondas o cupones, se refieren al comportamiento de un determinado componente o parte de un sistema. No obstante, a pesar de esta precaución, se debe reconocer que el monitoreo de la corrosión de un sistema inhibido es un procedimiento establecido y ampliamente usado.

## **PRUEBAS**

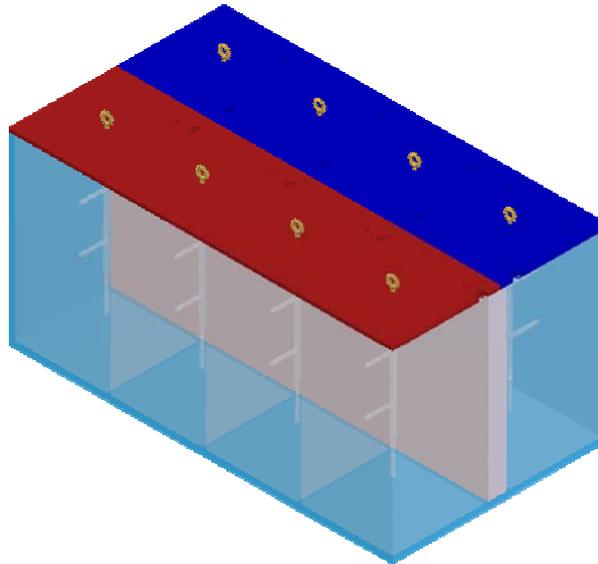
Las pruebas fueron diseñadas en base a la Figura 11 en la cual se encuentra el frasco para conducir una prueba de inmersión de un cupón para la construcción de un aparato básico para pruebas de inmersión, donde se puede someter a diferentes electrolitos a tres probetas, las cuales estarán en tres distintas condiciones en la celda, donde C1 corresponde a exposición a vapor y salpicadura, C2 inmersión parcial y C3 para inmersión completa.

Las seis zonas más críticas fueron, en orden descendente, fuselaje, alas, estabilizadores, controles de vuelo, puertas y tren de aterrizaje. El promedio de calificación de la flota es de 23.8, estando todas las zonas críticas por encima.

Para la selección de las partes o componentes más críticos de la flota, se tienen en cuenta los reportes de tipo 2, 3, 4 y 5 que se efectuaron en las seis zonas críticas de la flota. Los componentes y zonas seleccionados fueron los paneles de acceso 624AT, 624BT, 624CT, 524AT, 524BT y 524CT, ubicados en la parte superior de las alas; la zona de los rieles y partes móviles de los flaps #4 y #5, los rieles de las sillas, la zona debajo del piso desde la estación X182 hasta X600 entre los stringer 23P a 23S, la zona de los protectores de hielo (ice shields) izquierdo y derecho, la puerta de pasajeros con la estructura que la rodea, la zona del rudder y estabilizador vertical, y el elevador. El total de reportes para estas zonas es de 57; en la Tabla 3 está cada uno de los puntos críticos con su respectiva calificación, en orden del más crítico al que obtuvo menor calificación, y en la Figura 5 se ilustran estos resultados en un diagrama de barras.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 11. Cámara de inmersión**



El material para la prueba fue aluminio 2024-T3, a razón del análisis de puntos críticos. Bajo el criterio de la evaluación del metal en condiciones de operación, las probetas son maquinadas de un producto laminado y tratado térmicamente, con el fin de lograr los límites específicos de la aleación, estipulados en capítulos posteriores.

La severidad relativa de las diferentes condiciones de la exposición está sujeta a una serie de cambios y variaciones en relación con la naturaleza de los metales expuestos, la naturaleza del medio corrosivo, y el efecto particular de la corrosión (por ejemplo, pérdida de propiedades mecánicas o pérdida de peso).

Con el fin de hacer de la prueba un análisis cercano a las condiciones reales, se realizó un muestreo de los productos usados por la empresa aires en el servicio a los viajeros en cuanto a:

**Tabla 4. Selección de electrolitos**

| Jugo de Naranja | Café         | Gaseosa    |
|-----------------|--------------|------------|
| Tutti Frutti    | Águila Roja  | Colombiana |
| Hit             | Nescafé      | Manzana    |
| Tampico         | La Bastilla  | Coca-Cola  |
|                 | Nuestro Café |            |

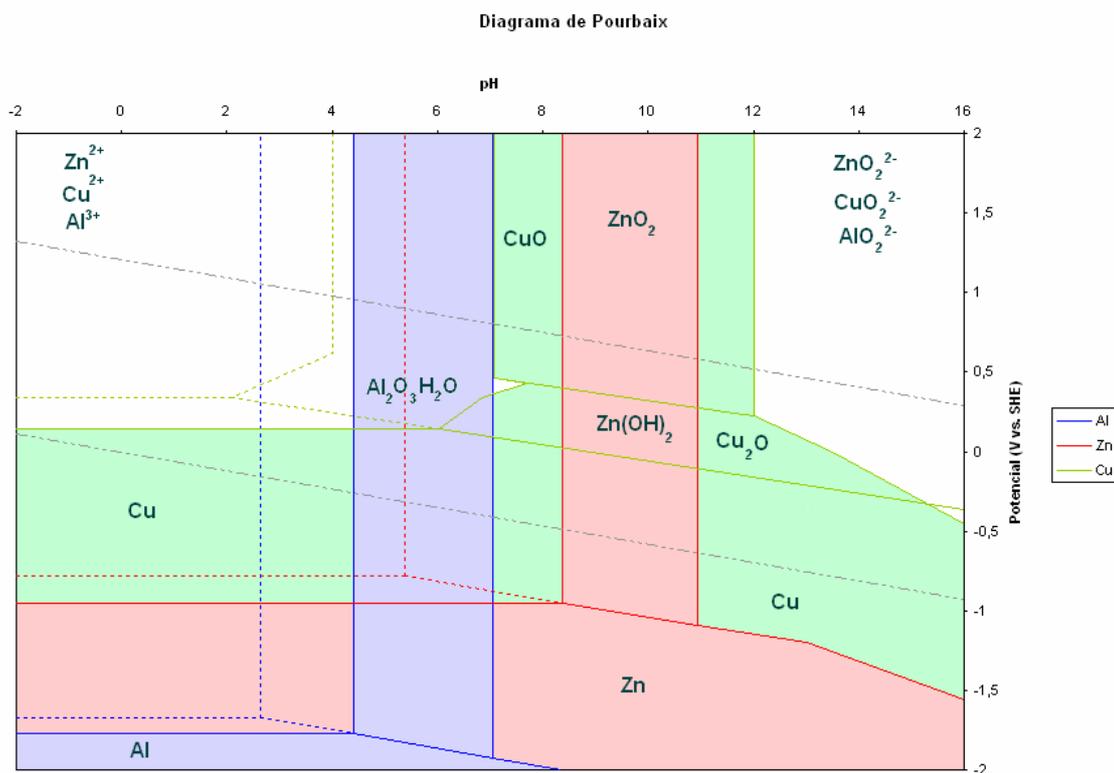
Además de los anteriores electrolitos, tras un análisis de los puntos críticos se decidió incluir dentro de la prueba el líquido de baño.

Para su selección se tomó como base las áreas determinadas en el análisis de los diagramas de Pourbaix para las aleaciones pertinentes y los pH altamente corrosivos indistintamente del potencial desarrollado.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Los diagramas de pourbaix relacionan el potencial desarrollado en comparación con el hidrógeno y el pH, para el caso de la prueba el aluminio es el elemento por excelencia, pero para hacer el análisis más acercado al contexto real la aleación 2024 y 7075 de Al-Cu y Al-Zn, respectivamente, se encuentran relacionadas en el siguiente diagrama, el cual muestra las diferentes regiones de pasividad, en el mismo se incluye las líneas de estabilidad del agua por ser la base de los electrolitos en cuestión.

**Figura 12. Diagrama combinado de potencial vs. pH**



A partir de lo anterior la selección de electrolitos se centró en:

**Tabla 5. pH de electrolitos**

| Electrolito     | pH | Ubicación en la cámara de inmersión |
|-----------------|----|-------------------------------------|
| Coca-Cola       | 1  | Celda 4 y 8                         |
| Tutti Frutti    | 4  | Celda 3 y 7                         |
| Águila Roja     | 6  | Celda 2 y 6                         |
| Líquido de Baño | 7  | Celda 1 y 5                         |

La inspección de pérdida por espesor fue realizada por medio de la prueba no destructiva de Corrientes Eddy con el fin de encontrar pérdidas de material luego de haber realizado la prueba en la cámara de inmersión

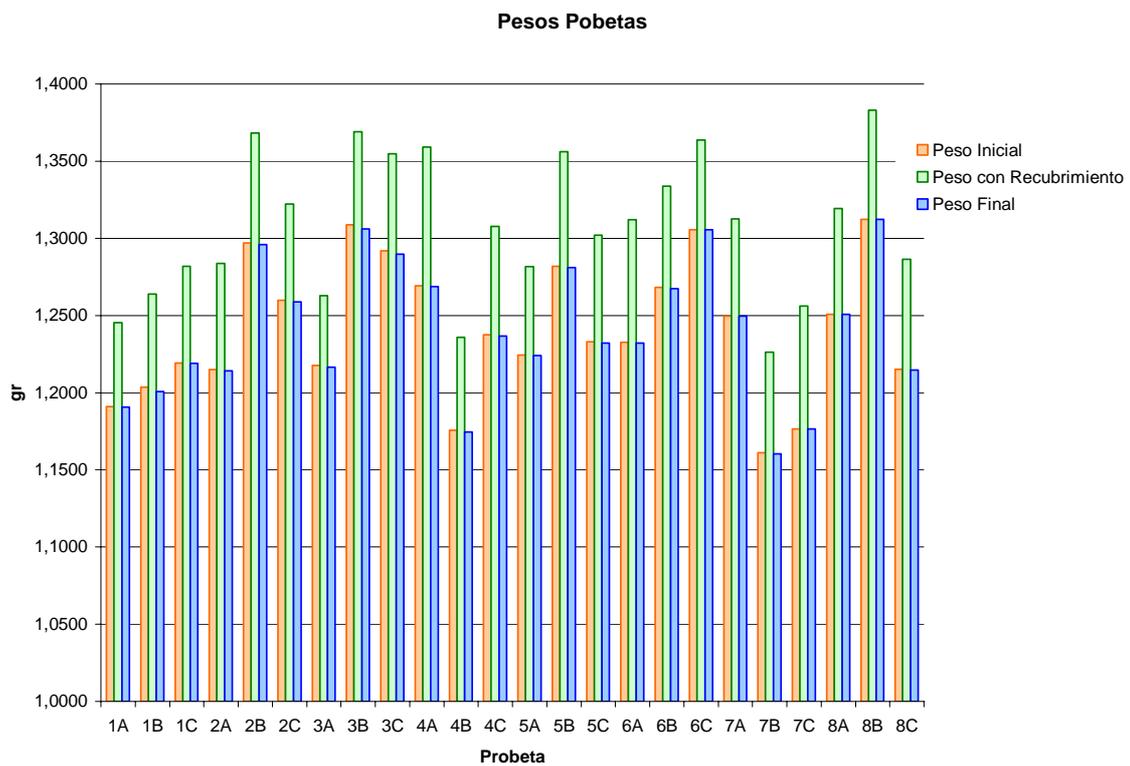
Dentro de ésta prueba se usó el método llamado "Lift-off", el cual da

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

variaciones en la lectura del equipo (ya sea análogo o digital) respecto al cambio del espesor de cualquier material (para el caso el espesor de la lámina de aluminio 2024-T3 es de 1/32 de pulgada (0.03125")). Para realizar esta práctica se usó un equipo análogo, ya que es más fácil ver que tanto se deflecta una aguja a ver el cambio de una señal en un equipo con pantalla digital.

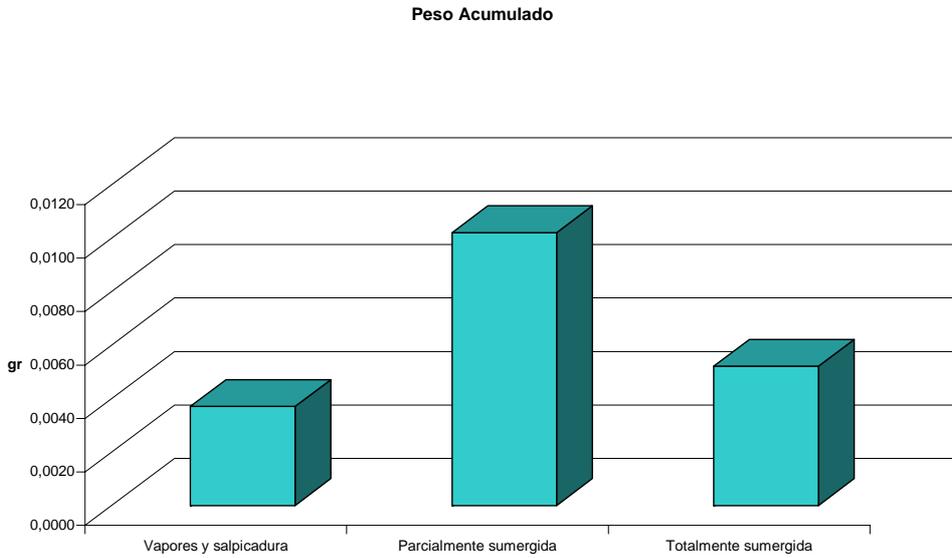
Como se estudió en el marco teórico, la forma de evaluar la velocidad de la corrosión en las pruebas por inmersión, es mediante el establecimiento de la penetración del daño por unidad de tiempo. Para la aplicación al mantenimiento de la aeronave Dash8-100 se debe escoger un intervalo de tiempo que se acomode al de los intervalos de inspección, que se cumplen en intervalos mayores a un año; también se deben analizar los límites permisibles por parte del fabricante para el daño por corrosión, que es dado en milésimas de pulgada.

**Figura 13. Diferentes pesos registrados en las probetas**

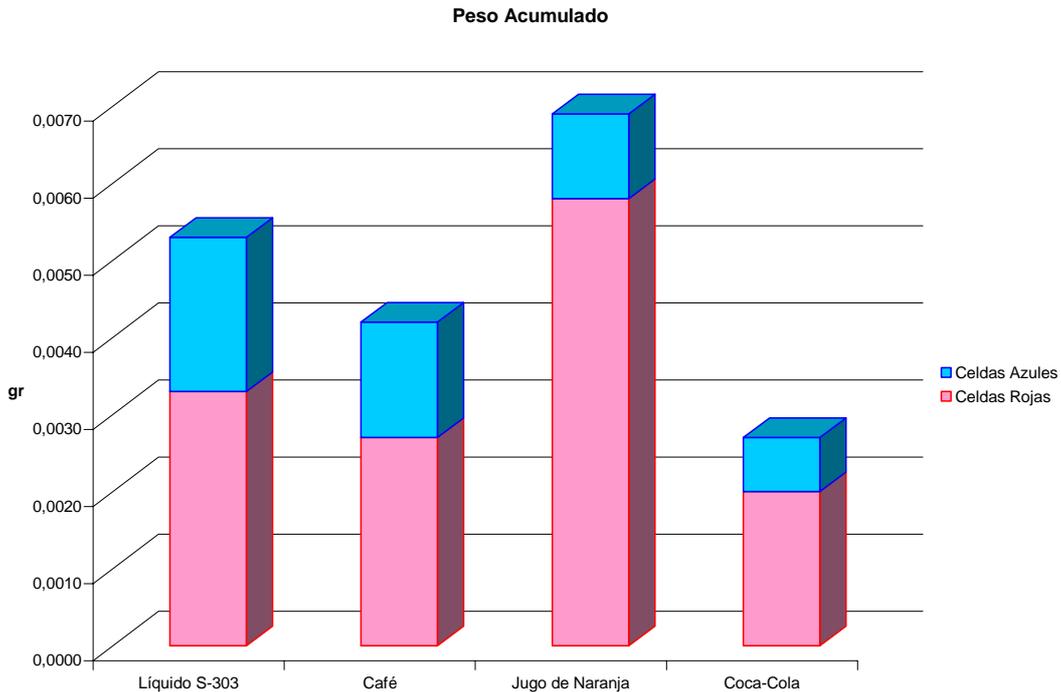


|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 14. Comparación de agresividad con la posición dentro de la celda**



**Figura 15. Pérdida de peso comparativa entre electrolitos**



La velocidad de corrosión dada en milésimas de pulgada de penetración por año (MPY) se acomoda muy bien a los requerimientos necesarios, para establecer intervalos de mantenimiento que, en caso tal de la aparición de la corrosión, ésta se pueda manejar dentro de los límites establecidos por el fabricante. La ecuación a usar es la siguiente

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

$$MPY = \frac{534W}{DAT}$$

Donde W es la pérdida de peso de la probeta en miligramos durante la prueba, De la densidad del aluminio en gr/cm<sup>3</sup>, T es el tiempo en horas de la prueba, y el área está expresada en pulgadas cuadradas. Para el aluminio la densidad es igual a 2,7 gr/cm<sup>3</sup>.

En la Tabla 5 se muestra la pérdida de peso para cada una de las probetas durante la prueba, las áreas expuestas y la velocidad del ataque de corrosión en MPY. El tiempo de exposición fue de 456 horas.

**Tabla 5. Velocidad de la corrosión para la prueba**

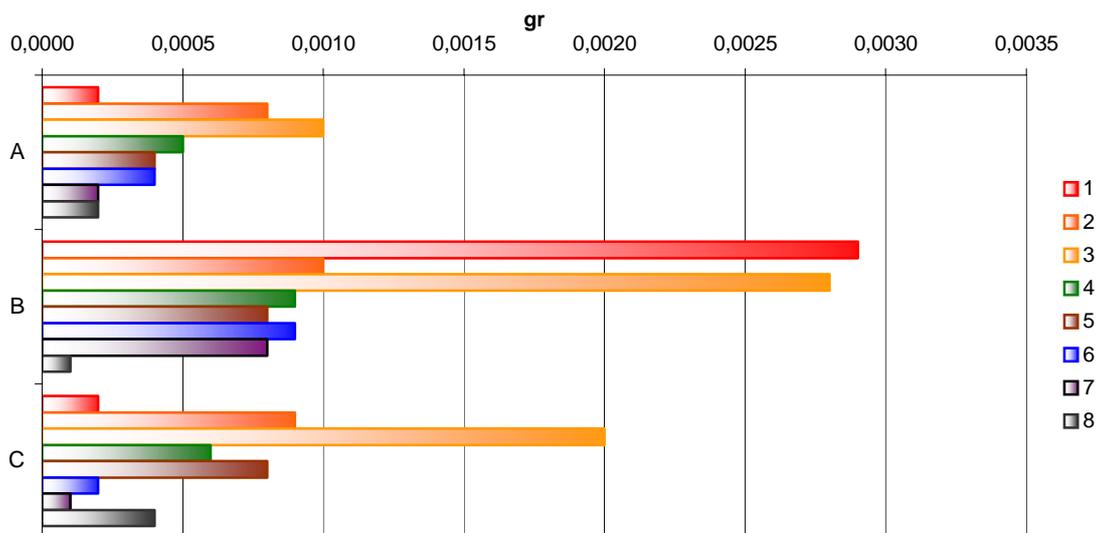
| <b>PROBETA No.</b> | <b>PESO INICIAL (gr)</b> | <b>PESO FINAL (gr)</b> | <b>PERDIDA DE PESO (gr)</b> | <b>AREA (in<sup>2</sup>)</b> | <b>MPY</b> |
|--------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------|
| 1A                 | 1,1910                   | 1,1908                 | 0,0002                      | 0,0099                       | 8,7487     |
| 1B                 | 1,2037                   | 1,2008                 | 0,0029                      | 0,0134                       | 94,0522    |
| 1C                 | 1,2191                   | 1,2189                 | 0,0002                      | 0,0123                       | 7,0715     |
| 2A                 | 1,2148                   | 1,214                  | 0,0008                      | 0,0313                       | 11,0894    |
| 2B                 | 1,2969                   | 1,2959                 | 0,0010                      | 0,0112                       | 38,8039    |
| 2C                 | 1,2598                   | 1,2589                 | 0,0009                      | 0,0137                       | 28,4249    |
| 3A                 | 1,2175                   | 1,2165                 | 0,0010                      | 0,0125                       | 34,8359    |
| 3B                 | 1,3088                   | 1,306                  | 0,0028                      | 0,0232                       | 52,4431    |
| 3C                 | 1,2918                   | 1,2898                 | 0,0020                      | 0,0096                       | 90,5628    |
| 4A                 | 1,2692                   | 1,2687                 | 0,0005                      | 0,0104                       | 20,9414    |
| 4B                 | 1,1756                   | 1,1747                 | 0,0009                      | 0,0108                       | 36,0027    |
| 4C                 | 1,2374                   | 1,2368                 | 0,0006                      | 0,0136                       | 19,0741    |
| 5A                 | 1,2244                   | 1,224                  | 0,0004                      | 0,0131                       | 13,2659    |
| 5B                 | 1,2819                   | 1,2811                 | 0,0008                      | 0,0122                       | 28,4545    |
| 5C                 | 1,2329                   | 1,2321                 | 0,0008                      | 0,0128                       | 27,0087    |
| 6A                 | 1,2326                   | 1,2322                 | 0,0004                      | 0,0164                       | 10,5979    |
| 6B                 | 1,2683                   | 1,2674                 | 0,0009                      | 0,0141                       | 27,7765    |
| 6C                 | 1,3057                   | 1,3055                 | 0,0002                      | 0,0088                       | 9,8864     |
| 7A                 | 1,2497                   | 1,2495                 | 0,0002                      | 0,0057                       | 15,2336    |
| 7B                 | 1,1611                   | 1,1603                 | 0,0008                      | 0,0112                       | 30,8627    |
| 7C                 | 1,1765                   | 1,1764                 | 0,0001                      | 0,0117                       | 3,6922     |
| 8A                 | 1,2508                   | 1,2506                 | 0,0002                      | 0,0302                       | 2,8729     |
| 8B                 | 1,3124                   | 1,3123                 | 0,0001                      | 0,0036                       | 12,2156    |
| 8C                 | 1,2151                   | 1,2147                 | 0,0004                      | 0,0098                       | 17,6473    |

Se puede observar que la probeta parcialmente sumergida en el líquido S-303, 1B, es la que presenta la mayor velocidad de ataque con penetración de 94.05 MPY, seguido de la 3C, totalmente sumergida en jugo de naranja, con 90.56 MPY.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

En la siguiente figura se muestra de forma gráfica una comparación en la cantidad de pérdida de peso para cada una de las probetas, en donde se ve que las probetas parcialmente sumergidas son las que presentan el ataque más agresivo, simulando las condiciones a las que está sometida la estructura de la aeronave, por salpicaduras y contacto directo con diferentes líquidos que cumplen el papel de electrolitos.

**Figura 16. Comparación de la pérdida de peso durante la prueba de cámara de inmersión**



Para determinar los nuevos intervalos se debe hacer un análisis de los puntos críticos y los electrolitos que pueden entrar en contacto con cada uno de ellos, en la Tabla 49 se muestra cada punto y las soluciones con las que puede entrar en contacto.

**Tabla 6. Puntos críticos y contacto con electrolitos**

| ZONA                            | ELECTROLITO   |
|---------------------------------|---|
| Flaps                           | Ataque ambiental                                      |
| Zona bajo el piso               | Jugo de naranja<br>Café<br>Líquido S-303<br>Coca-Cola |
| Rieles de las sillas            | Jugo de naranja<br>Café<br>Coca-Cola                  |
| Rudder y estabilizador vertical | Ataque ambiental                                      |
| Paneles de acceso alas          | Ataque ambiental                                      |
| Puerta de pasajeros             | Jugo de naranja<br>Café<br>Coca-Cola                  |
| Elevador                        | Ataque ambiental                                      |
| Ice shields                     | Ataque ambiental                                      |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Daños máximos permisibles. La Tabla 7 muestra la profundidad máxima permisible en la remoción de daños por corrosión. Para los puntos críticos que no aparecen en esta tabla, según el Manual de Prevención y Control de Corrosión, el límite máximo de profundidad permisible es de 0.010 in.

**Tabla 7. Profundidad máxima permisible para la remoción de daños**

| Zona                         |              | Profundidad (in) |
|------------------------------|--------------|------------------|
| Zona bajo el piso            |              | 0.010            |
| Riles de las sillas          |              | 0.010            |
| Estabilizador Horizontal     |              | 0.006            |
| Paneles de acceso            | Paneles      | 0.005            |
|                              | Ladder Plate | 0.010            |
| Transportadores de los flaps |              | 0.025            |

Asumiendo la presencia de un daño en el recubrimiento de cualquiera de los puntos críticos, se calculó el intervalo de tiempo en el cual se alcanza la profundidad del deterioro por corrosión máxima permitida por el fabricante. Para los servicios de inspección dados por horas de vuelo, se debe tener en cuenta que la aeronaves vuelan aproximadamente 2164 horas por año, como se vio en el capítulo “cuatro tres”, por lo que un servicio C, cada 5000 horas de vuelo, se cumple cada 2.3 años y un servicio A a los dos meses y tres semanas.

En la Tabla 8 se muestra el tiempo de exposición en el cual el daño por corrosión, iguala el límite permitido por el fabricante para las diferentes zonas críticas. Los puntos que no se muestran en esta tabla, son aquellos que no entran en contacto con ninguno de los electrolitos puestos a prueba, y el estudio se hace por medio del análisis estadístico de mantenimiento de reportes técnicos, que se realizó en el capítulo “cuatro dos”.

**Tabla 8. Tiempo crítico de exposición para los puntos críticos**

| Zona                | Electrolito     | Tiempo permisible de exposición (años) | Tiempo permisible de exposición (meses) |
|---------------------|-----------------|--|---|
| Zona bajo el piso   | Líquido S-303   | 0,11                                   | 1,3                                     |
|                     | Café            | 0,26                                   | 3,1                                     |
|                     | Jugo de Naranja | 0,11                                   | 1,3                                     |
|                     | Coca-Cola       | 0,28                                   | 3,3                                     |
| Riles de las sillas | Líquido S-303   | 0,11                                   | 1,3                                     |
|                     | Café            | 0,26                                   | 3,1                                     |
|                     | Jugo de Naranja | 0,11                                   | 1,3                                     |
|                     | Coca-Cola       | 0,28                                   | 3,3                                     |

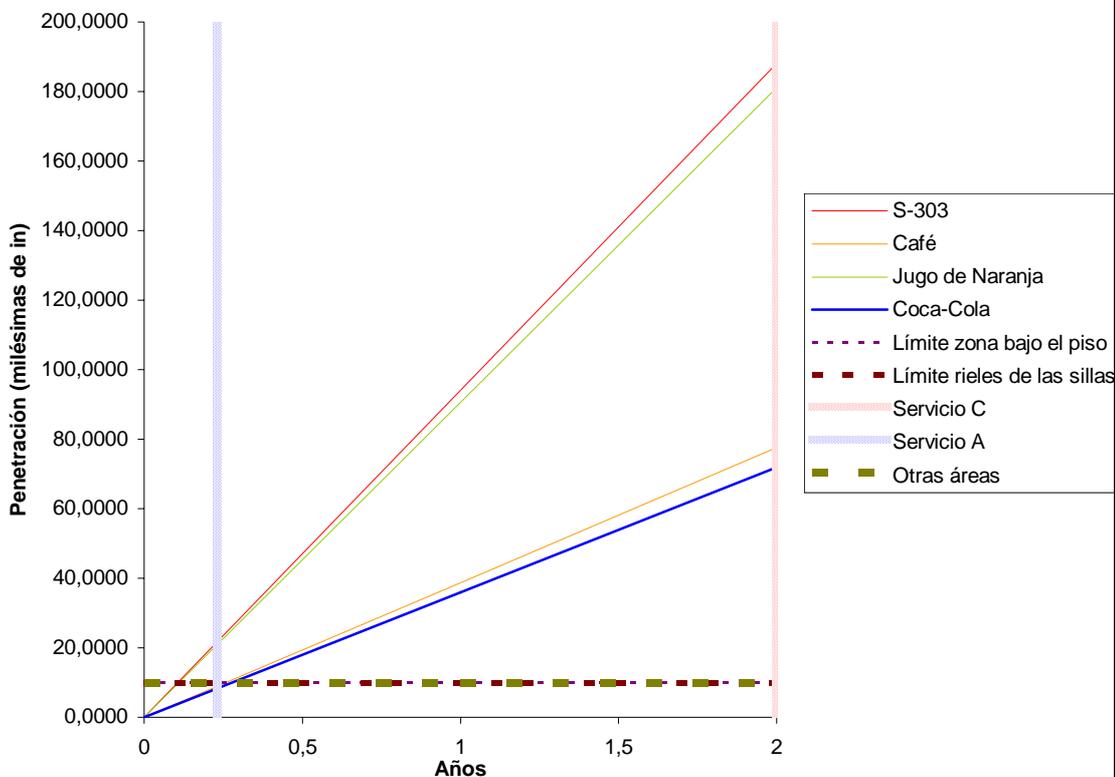
|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Para el líquido S-303 y el jugo de naranja se tiene un tiempo máximo de exposición de 1,3 meses, lo que demuestra la capacidad corrosiva de estos líquidos, para lo que se hace necesario reducir los intervalos de inspección o mejorar la limpieza en el avión. También sale a flote la introducción de prácticas de manejo del líquido S-303 durante su manipulación en el servicio de la aeronave. En la Figura 17 se muestra un diagrama que relaciona la velocidad de penetración de la corrosión (MPY), y los límites de daño establecidos por el fabricante con los respectivos intervalos de mantenimiento A y C.

Los intervalos de mantenimiento usados por el operador no son lo suficientemente cortos para prevenir la aparición de corrosión, puesto que las inspecciones que se realizan en la zona bajo los pisos tienen un intervalo C, el cual no es efectivo en caso del derrame de líquido S-303 porque en ese punto se tendrían penetraciones de 188 milésimas de pulgada, muy por encima de las 10 milésimas permisibles. Este intervalo se repite para los rieles de las sillas que también poseen un límite de daño de 10 milésimas de pulgada.

Una exposición al café y a la Coca-Cola produce velocidades de corrosión que pueden ser controladas con intervalos de mantenimiento A, puesto que el límite máximo permisible de daño se alcanza a los 3 meses, y un servicio A se efectúa aproximadamente cada dos meses y tres semanas.

**Figura 17. Penetración de la corrosión**



|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Los puntos que están sometidos solo a un ataque ambiental se analizan estadísticamente por medio del tiempo medio entre fallas, el cual se realiza para la flota, y es igual al promedio de aparición de corrosión durante el tiempo del análisis estadístico. Este arrojó el intervalo al cual se encuentran los daños de corrosión que requirieron algún tipo de acción correctiva. En la Tabla 9 se muestra el tiempo entre fallas para cada uno de los puntos críticos.

**Tabla 9. Tiempo entre fallas**

| ZONA                            | CALIFICACION | NUMERO DE REPORTE | TIEMPO ENTRE FALLAS (años) |
|---------------------------------|--------------|-------------------|----------------------------|
| Flaps                           | 68           | 14                | 0,7                        |
| Zona bajo el piso               | 31           | 10                | 1,0                        |
| Rieles de las sillas            | 30           | 7                 | 1,4                        |
| Rudder y estabilizador vertical | 30           | 8                 | 1,3                        |
| Paneles de acceso alas          | 25           | 8                 | 1,3                        |
| Puerta de pasajeros             | 15           | 4                 | 2,5                        |
| Elevador                        | 14           | 4                 | 2,5                        |
| Ice shields                     | 7            | 2                 | 5,0                        |

El operador realiza las inspecciones de la zona bajo los pisos en intervalos repetitivos cada dos años, el cual no muestra resultados óptimos en el mantenimiento de la aeronave, puesto que se presentan fallas cada año. La puerta de pasajeros se inspecciona a intervalos C, por inspección zonal, siendo este menor al tiempo medio entre fallas, pero aún así se ha encontrado corrosión que conlleva al cambio de los componentes internos y elementos sujetadores. Lo mismo sucede con el elevador que originó cambios en elementos de sujeción y lijado de la parte estructural afectada.

Las inspecciones zonales para las alas se realizan a intervalos C, en las áreas exteriores, y 3C durante las interiores. Estos intervalos se cumplen a plazos mayores que el tiempo entre fallas, y de la misma manera para el estabilizador vertical. Los rieles de los flaps se inspeccionan cada 20000 ciclos que se cumplirían en 4.67 años, para la tarjeta de mantenimiento limitante de aeronavegabilidad, y cada servicio C durante las inspecciones zonales; siendo intervalos muy largos para el tiempo entre fallas de este componente.

La zona bajo el piso presenta fallas a intervalos de 1 año, con servicios zonales a intervalos C y por tarjeta cada dos años; intervalos mayores al del tiempo entre fallas. Los rieles de las sillas se inspeccionan durante un servicio C, pero los rieles de la cabina de mando a intervalos 5A.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

## METODOLOGÍA

### **ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El enfoque de la investigación es empírico-analítico el cual está orientado hacia la transformación del mundo material y su interés es netamente técnico.

### **LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Línea de investigación de USB. En concordancia a la Universidad De San Buenaventura la línea institucional del proyecto es "Tecnologías Actuales Y Sociedad".

Sublínea de facultad. Con relación a la Facultad De Ingeniería de la Universidad De San Buenaventura, la sublínea de la facultad es "Instrumentación Y Control De Procesos".

Línea de ingeniería aeronáutica. De acuerdo al programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad De San Buenaventura, la línea de Ingeniería Aeronáutica es "Diseño De Aeronaves".

### **TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Los instrumentos utilizados en la recopilación de información son las listas de chequeo, los diarios de campo y las mediciones con instrumentos ya que para el seguimiento del desarrollo ingenieril se necesitan mediciones constantes tales como temperaturas y concentraciones y se hace necesario recopilar todas las mediciones realizadas en espacios de tiempo bastante cortos.

En la parte de análisis de reportes se realizará una selección de reportes de mantenimiento desde el año 1994 referente a trabajos realizados por corrosión, ya sea como causa principal o secundaria. Para determinar las partes en las que más se realizaron trabajos por corrosión así como su importancia, se aplicará el método cualitativo por puntos.

### **POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población está representada por la empresa AIRES S.A. y la flota de aviones DASH8-100.

La muestra está constituida por las aeronaves DASH8-100 que en el momento de inicio del trabajo de grado se encontraban en la empresa AIRES S.A., con las matrículas HK3942, HK3946 y HK4258.

### **HIPÓTESIS**

Predecir la velocidad y el comportamiento de la corrosión de una forma acertada de tal manera que no se presente en la aeronave y se pueda realizar la respectiva tarea de mantenimiento preventivo.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

## VARIABLES

Variables Independientes. Hallazgo de corrosión en los puntos críticos presentados en la aeronave, encontrándola de una forma avanzada teniendo que utilizar un mantenimiento correctivo para corregirlo.

Variables Dependientes. Predicción de la velocidad de corrosión para que esta no se presente en la aeronave y se pueda llevar a cabo un mantenimiento preventivo sin tener que remover la corrosión, o en su defecto cambiar el material o el componente y realizar una reparación.

## CONCLUSIONES

La corrosión degrada la integridad estructural de las aeronaves y puede llegar al punto de reducir la capacidad inherente para soportar las cargas que se producen durante la operación. Para prevenir esto es necesario contar con un programa de control de corrosión basado en la experiencia del operador, complementando las tareas básicas propuestas por el fabricante.

El uso de un programa de control de corrosión debe ser personalizado para los operadores, puesto que los ambientes de operación, los tipos de carga que se transportan, procedimientos de mantenimiento de dueños o explotadores anteriores, variación en la calidad de productos inhibidores de corrosión usados, produce una variación en la aparición y crecimiento de la corrosión. Para el desarrollo de este programa se debe comenzar por la detección, por parte del operador, de los componentes que más son afectados por la corrosión, identificándolos y tomando las acciones pertinentes reduciendo al mínimo su aparición.

En la detección de puntos críticos se debe hacer un análisis minucioso de los reportes de mantenimiento que se produzcan por la aparición de corrosión como también aquellos en los que no se encuentra ningún tipo de daño, para así identificar las tareas del manteniendo programado que son efectivas y las que no lo son, tomando las medidas requeridas ya sea reduciendo los intervalos de mantenimiento o mejorando sus procedimientos de inspección.

Un aspecto muy importante para la flota de aviones de la empresa Aires S.A. es la ubicación de Colombia en la zona tórrida de la tierra la cual tiene un efecto agresivo para la aparición de corrosión, por la gran humedad presente, representado por valores como lo son 87.25% o por ejemplo lo visto dentro de la franja de humedad de la ruta 2 en la que el nivel promedio se encuentra por encima de 70%, y a esto se le debe sumar la operación sobre la zona costera que comprende las ciudades de Barranquilla, Cartagena, Curazao, Aruba y Panamá en ruta 2, agregando el factor adicional de presencia de un ambiente

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

salino sobre las aeronaves, siendo éste muy favorable para la aparición y propagación de corrosión puesto que un elemento químico que componen la sal es el cloro el cual es vital para la formación de ácido clorhídrico durante el proceso de corrosión por picadura, como se estudió en el marco teórico.

Observando lo anterior es evidente que las cuatro rutas no presentan la misma incidencia sobre la velocidad de corrosión, por tanto las aeronaves que cubren la ruta 2 deben permanecer bajo una rigurosidad mayor en procesos como lo son el lavado y demás practicas que estén encaminadas a la prevención de corrosión. Si a la alta agresividad del ambiente se le puede adicionar el cubrimiento de destinos con alta probabilidad de presentar desprendimientos en la calle de rodaje, como lo es el aeropuerto de Las Brujas de la ciudad de Corozal, es indispensable que por parte de la empresa se organice un plan especial de inspección y prevención con el fin de que posibles daños, bajo la influencia de un ambiente propicio se traten de manera adecuada y a su debido tiempo con el fin de que los daños se minimicen al máximo.

Durante la realización del análisis de rutas se pudo concluir que a pesar de que las exposiciones a los diferentes atmósferas intermitentes, características de cada destino, fluctuaban de manera perceptible, los intervalos de exposición durante los tiempos de pernoctada hacen insignificante el ataque representado por lo visto entre los vuelos. Por tanto se puede afirmar que bajo las condiciones atmosféricas que afectan la velocidad de corrosión, Barranquilla representa un frente de ataque considerablemente más alto a lo visto para las bases de las ciudades de Bogotá y Medellín. Sin embargo al agrupar lo visto para las pistas la ruta 1 recoge la mayor cantidad de pistas con alta probabilidad de presentar desprendimientos por tanto es la que a causa de lo anteriormente propuesto se ve más propensa a presentar la fallas derivadas de las condiciones de pista. Por tanto, como se propuso para la ruta 2 la ruta 1 y en especial la base Bogotá debe tener especial atención a la integridad de la protección de la aeronave.

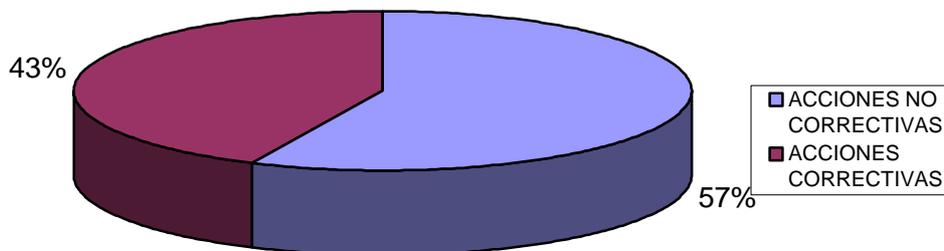
El análisis de los reportes de mantenimiento muestra que las zonas más críticas para la aparición de problemas de corrosión varían en las tres aeronaves de la flota. Para los aviones HK 3942 y HK 4258 la zona más crítica es la del fuselaje mientras que en el HK 3946 corresponde a las alas. A pesar de esto, se pueden establecer zonas críticas comunes en la flota que se presentan en los tres aviones, pero que varía su nivel de importancia para cada uno. En la Tabla 10 se muestran las zonas más críticas para cada aeronave en orden descendente de jerarquía, teniendo en cuenta únicamente las calificaciones por reportes que requieren acciones correctivas.

Se debe prestar atención a la cantidad de acciones correctivas que realiza el operador en comparación a las no correctivas, puesto que nos indican que el tipo de mantenimiento usado por el operador es de carácter preventivo, pero aún así el número de daños que se presentan en las aeronaves por corrosión es muy grande ya que el 43% de los reportes técnicos son de tipo correctivo (Figura 18). Esto demuestra claramente que se deben mejorar los intervalos de inspección y hacer énfasis en la importancia que tienen los recubrimiento e inhibidores de corrosión, su forma de aplicación, calidad del producto y las

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

fallas durante la operación normal, como también la limpieza de las aeronaves, previniendo así la aparición de la corrosión en la estructura.

**Figura18. Comparación de las acciones correctivas con las no correctivas**



El fuselaje es la zona común para la flota puesto que es una zona crítica en las tres aeronaves y es la que presenta la mayor calificación total en la flota seguida de las alas y estabilizadores. Los puntos que más presentaron problemas para la zona del fuselaje son los rieles de las sillas, la zona debajo de los pisos y los ice shields. Para los estabilizadores el componente más afectado es la estructura del estabilizador vertical y el rudder; en las alas los paneles de acceso de la parte superior, los flap tracks en los controles de vuelo y por último en la zona de puertas, la puerta de pasajeros.

Para las zonas críticas fuselaje, alas y controles de vuelo sobresalen las acciones correctivas sobre las preventivas, indicación clara de inspecciones de mantenimiento deficientes puesto que no son lo suficientemente efectivas para prevenir la aparición de la corrosión. Este hecho pone a la vista la necesidad de una reducción en los intervalos de mantenimiento para estas zonas, para lo que se debe tener en cuenta la viabilidad de los nuevos tiempos de mantenimiento por el grado de complejidad requerido para acceder a estos sitios, el cual se manifiesta en tiempo de parada de las aeronaves en tierra por mantenimiento.

Los rieles de las sillas son afectados principalmente por el derramamiento de sustancias por parte de los pasajeros, principalmente residuos sólidos y líquidos de la comida que se ofrece durante el vuelo, el cual propicia la aparición de la corrosión porque trabaja como el electrolito que sirve como medio de transferencia de electrones. En la Figura 19 se puede observar dos imágenes que muestran sedimentos sobre los rieles de las sillas durante un servicio de mantenimiento. Los desechos líquidos tienden a escurrir por los empalmes de los paneles del piso, dirigiéndose hacia la estructura debajo de estos produciendo también problemas en esta zona. La zona bajo pisos, específicamente sobre el stringer 31, presenta problemas serios de corrosión puesto que allí se sitúa la conexión del drenaje del baño con el panel de servicio exterior, y en caso de derrames se produce una deposición del líquido del baño sobre la estructura que es altamente corrosivo. Este daño se puede evitar por medio de la creación de políticas de aseo que involucren una

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

limpieza de la cabina de las aeronaves, en intervalos repetitivos durante los servicios de pernoctada o chequeos L, enfatizando en las zonas cercanas a los rieles de las sillas baño y la cocina, y reportando el derrame de líquidos por parte de la tripulación.

**Tabla10. Zonas críticas en las aeronaves**

| AERONAVE | NUMERO ATA | ZONA               | CALIFICACION POR ACCIONES CORRECTIVAS |
|----------|------------|--------------------|---------------------------------------|
| HK 3942  | 53         | Fuselaje           | 62                                    |
|          | 27         | Controles de vuelo | 50                                    |
|          | 57         | Alas               | 19                                    |
| HK 3946  | 57         | Alas               | 57                                    |
|          | 53         | Fuselaje           | 36                                    |
|          | 55         | Estabilizadores    | 13                                    |
| HK 4258  | 53         | Fuselaje           | 11                                    |
|          | 55         | Estabilizadores    | 9                                     |
|          | 52         | Puertas            | 7                                     |

Para los daños en los rieles de las sillas el fabricante emitió un Boletín de servicio, por reportes de corrosión de los operadores, en la zona desde la puerta de pasajeros hasta el baño. El Boletín consiste en una inspección de los rieles ubicados en la zona y la incorporación de una modificación basada en la aplicación de un tratamiento protectivo.

En la Figura 20.a se muestra un daño por corrosión en el stringer 31 el cual se expandió a la piel (Figura 20.b) ubicada debajo de éste. Este hecho muestra que el mantenimiento preventivo debe hacerse mas restrictivo en cuanto a los intervalos de inspección para esta zona específica, en la que por su difícil acceso, se hace propicia la aparición y propagación de corrosión. Los problemas por corrosión en este punto de la aeronave son consecuencia de fugas del líquido S-303 sobre la estructura. Se sugiere incluir una inspección al drenaje del baño y el conducto por donde circula, en búsqueda de fugas de líquido ya que este tiene un poder altamente corrosivo. En la Figura 21.a se puede observar el drenaje del baño y la zona de los ductos en la zona debajo de los pisos (Figura 21.b).

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 19. Sedimentos en los rieles de las sillas.  
a) Riel interior, b) Riel exterior**



**Figura 201. Daño por corrosión sobre el stringer 31.  
a) Stringer 31, b) Zona de la piel afectada**



|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |



**Figura 21. Drenaje del baño.**  
a) Drenaje, b) Zona de ubicación del ducto del drenaje en el avión



|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |



Los orificios de los remaches de los ice shields también son propensos a presentar problemas de corrosión puesto que se forman moléculas de agua por condensación entre el ice shield y la piel del avión en caso de falla del recubrimiento de resina epóxica, que conlleva al desprendimiento de la capa de pintura de la aeronave, el primer y falla de la película de alodine. En la Figura 22 se pueden observar fallas de los recubrimientos aplicados en los ice shields.

**Figura 22. Fallas en el recubrimiento de los ice shields.**  
a) Zona afectada por la corrosión, b) Detalle en la zona afectada



|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |



Una causa para la aparición de corrosión en los paneles de acceso de las alas es debido a desprendimiento de la capa de pintura sobre las alas, por la erosión producida del contacto del aire a gran velocidad con la aeronave. Se descarta la presencia de corrosión microbiológica puesto que no hay evidencia, en el análisis de reportes de mantenimiento, de la aparición de microorganismos en los tanques de combustible. En la Figura 23 se pueden observar las fallas en la pintura por erosión.

**Figura 232. Fallas de la pintura de los paneles de acceso de las alas por erosión**



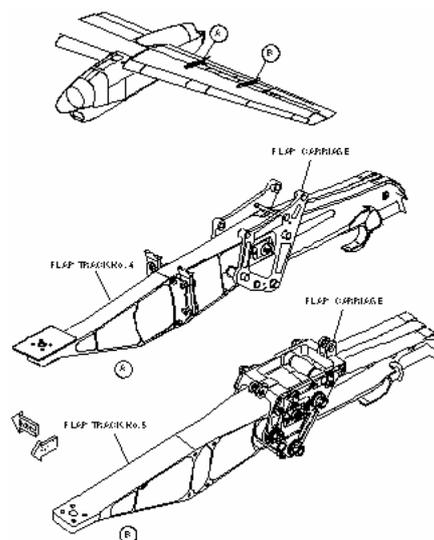
|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

Para este daño el fabricante emitió un Esquema de Reparaciones Estructurales Genéricas (RD) que permite unos valores permisibles en cuanto al la profundidad de la zona afectada, y en caso de sobrepasar estos límites la pieza debe ser reemplazada, pero para todos los reportes se pudo retirar la corrosión y los daños se encontraron dentro de límites. También el fabricante detectó que los sellos usados en unos aviones son más grandes, lo cual permite el movimiento del panel que roza con la estructura del ala, produciendo así corrosión por fricción. La acción correctiva se emitió por medio de una Directiva de aeronavegabilidad (AD), con fecha del año 1999, haciendo referencia a un Boletín de Servicio (SB) el cual especifica el uso de un sello de Teflón y la aplicación de primer para prevenir la corrosión por fricción.

Existe otro Boletín de Servicio el cual también se produce por la presencia de corrosión por fricción en los paneles de acceso y la estructura superior circundante, la cual se debe eliminar de acuerdo a la RD citada anteriormente y se debe instalar una cinta de teflón sobre los bordes de los paneles para evitar la fricción entre superficies.

En la zona de los flaps uno de los componentes afectados es el eje transportador, y el transportador (Figura 24) los cuales deben ser cambiados por indicaciones prescritas en una Directiva de aeronavegabilidad. La causa de la corrosión es por la falta de aplicación de recubrimientos inhibidores por parte del fabricante. Esta zona no permite ningún tipo de daño por corrosión, por lo que siempre se deben cambiar las partes afectadas.

**Figura 24. Transportadores de los flaps (carriage)**



**Fuente: Aircraft Maintenance Manual Dash8-100**

Según lo registrado en la prueba de inmersión, la velocidad de corrosión en presencia de los electrolitos estudiados es muy agresiva para la estructura de aluminio de la aeronave. Los intervalos de inspección que realiza el operador

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

no son lo suficientemente cortos para mantener los daños por corrosión dentro de límites permisibles, en caso de derramamientos y daños en los recubrimientos, que únicamente necesiten una remoción de material superficial de la zona afectada y no se requiera un cambio de componentes.

Los electrolitos más agresivos son el líquido S-303 y el jugo de naranja, con velocidades de penetración de corrosión de 94.05 MPY y 90.56 MPY, respectivamente. El intervalo de tiempo necesario para alcanzar el límite de daño permisible, 0.010 in, es igual a 1.3 meses, tiempo que se estudió en el análisis de penetración de corrosión. Si se deja propagar el daño hasta la realización de la inspección con los intervalos actuales, se tendrían daños de 188 milésimas de pulgada.

La Coca-Cola y el café presentan velocidades de corrosión de 38.8 MPY y 36 MPY, respectivamente, produciendo una penetración límite para el fabricante a los tres meses. Los intervalos de inspección A sirven para detectar el ataque por corrosión antes que este sobrepase los límites máximos permisibles.

Estos daños se pueden evitar por medio de prácticas de mantenimiento que tengan muy en cuenta los procedimientos de aplicación de inhibidores de corrosión y su cuidado, puesto que el estudio se realizó asumiendo daños en el recubrimiento de las piezas, y se demostró que cualquier tipo de imperfección por más insignificante que parezca tiene una gran influencia en la aparición y propagación de la corrosión.

El daño de las capas de inhibición de corrosión produce daños localizados ante la presencia de cualquier electrolito, mostrando de esta manera la importancia que tiene el cuidado de los recubrimientos en la estructura de la aeronave.

Un aspecto muy importante para el control de la corrosión es un buen manejo de los reportes técnicos generados por este problema, los cuales deben ser archivados de una forma ordenada y separada, conteniendo una descripción completa del daño encontrado. El operador no cuenta con procedimientos específicos que controlen la calidad y cantidad de información necesaria durante el reporte de fallas por corrosión, lo que dificulta el análisis y prevención de la misma en su flota de aeronaves. Se diseñó un formato de reporte de corrosión el cual contiene la siguiente información:

- Nivel
- Componente estructural afectado
- Ubicación específica del daño en el avión
- Causa de la corrosión
- Descripción del área afectada

Esta política también debe dar importancia en la capacitación al personal de mantenimiento, en cuanto a corrosión se refiere, puesto que deben estar en la capacidad de identificar los tipos de corrosión que se encuentren durante las inspecciones de mantenimiento, para registrar de una forma completa las características del daño, permitiendo de esta manera un estudio posterior de

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

sus causas y tomar las medidas correctivas y preventivas pertinentes.

Como se analizó durante el desarrollo ingenieril del proyecto un factor que tiene una gran relevancia en la prevención de la corrosión, es la aplicación de unas prácticas de mantenimiento que tengan en cuenta el cuidado que se debe tener con los recubrimientos de los componentes estructurales de la aeronave. Estas deben especificar los procedimientos de aplicación de pasivadores e inhibidores, controlando su porosidad y espesor por medio de las prácticas estándar establecidas por el fabricante.

Otra forma de prevención de la corrosión se efectúa por medio de la eliminación de uno de sus componentes de propagación, el electrolito, con una limpieza exhaustiva de la aeronave, para la que el operador tiene establecido una inspección durante los servicios L, más no realiza una práctica de aseo rutinaria minuciosa en la aeronave. Este procedimiento se debe hacer durante un servicio A, enfatizando en aquellos puntos que están constantemente en contacto directo con los pasajeros y la tripulación, y en caso de encontrarse sucios establecer un procedimiento de reporte de suciedad para así eliminarla lo antes posible. También se recomienda el uso de reportes de derrames de líquido durante el vuelo, por parte de los auxiliares de vuelo y la tripulación, en caso de observar un derramamiento de cualquier líquido sobre la estructura, el cual debe indicar su ubicación exacta. Una forma de prevenir los derrames de los líquidos que se sirven en el avión es con el uso de recipientes diseñados de forma tal que eviten la pérdida de líquidos.

Tener cuidado con la manipulación del líquido S-303, puesto que se estudió, en la hoja de especificaciones, que tiene un poder altamente corrosivo y es incompatible con el aluminio. Se sugiere el cambio del mismo o la implementación de procedimientos que adviertan los problemas que tiene el contacto de este con la estructura de la aeronave.

El operador debe crear una política dentro del mantenimiento que enfatice en el cuidado de los recubrimientos de la estructura, y se diseñe un formato de reporte de daños de éstos, el cual se debe llenar cuando el personal técnico que está en contacto con las aeronaves de un aviso de daño, en caso de que se produzca cualquier tipo de rayón por medios mecánicos, como el hecho por dejar caer cualquier herramienta sobre la estructura, que dará origen a tipos de corrosión localizadas como se demostró con las pruebas de inmersión.

La reducción de los intervalos de inspección en los puntos críticos se hace necesaria, puesto que la velocidad de corrosión es lo suficientemente alta para producir daños que sobrepasan los límites establecidos por el fabricante, pero los intervalos requeridos no son viables para la operación de la aeronave puesto que serían muy cortos. Por esta razón se deben crear tarjetas de mantenimiento que sean cumplidas únicamente cuando se detecten daños en el recubrimiento de la estructura, con un intervalo de un mes máximo, evitando de esta manera la propagación de daños por fuera de límites.

Aún así la modificación en los intervalos de inspección actuales, que se

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

realizan sobre los puntos críticos, sirve para la detección oportuna de la corrosión. En la Tabla 11 se muestran las inspecciones que realiza el operador con sus intervalos, y los que se proponen a partir de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

**Tabla 111. Intervalos de inspección y sus modificaciones**

| ITEM | DESCRIPCION DE LA INSPECCION  | TIPO DE INSPECCION | INTERVALO ACTUAL | INTERVALO NUEVO |
|------|---|--------------------|------------------|-----------------|
| 1    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso derecha en el compartimiento de nariz   | Zonal              | C                | 4 A             |
| 2    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso izquierda en el compartimiento de nariz | Zonal              | C                | 4 A             |
| 3    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso izquierda en el compartimiento de vuelo | Zonal              | C                | 4 A             |
| 4    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso derecha en el compartimiento de vuelo   | Zonal              | C                | 4 A             |
| 5    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso izquierda en la cabina delantera        | Zonal              | C                | 4 A             |
| 6    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso derecha en la cabina delantera          | Zonal              | C                | 4 A             |
| 7    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso central en la cabina delantera          | Zonal              | C                | 4 A             |
| 8    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso izquierda en la cabina trasera          | Zonal              | C                | 4 A             |
| 9    | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso derecha en la cabina trasera            | Zonal              | C                | 4 A             |
| 10   | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso central en la cabina trasera            | Zonal              | C                | 4 A             |
| 11   | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso del compartimiento de carga delantero   | Zonal              | C                | 4 A             |
| 12   | Inspección visual general interna de la zona bajo el piso del compartimiento de carga trasero     | Zonal              | C                | 4 A             |
| 13   | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso derecha en                              | Zonal              | C                | 5 A             |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|    |  |       |   |     |
|----|--|-------|---|-----|
|    | el compartimento de nariz  |       |   |     |
| 14 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso izquierda en el compartimento de nariz | Zonal | C | 5 A |
| 15 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso izquierda en el compartimento de vuelo | Zonal | C | 5 A |
| 16 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso derecha en el compartimento de vuelo   | Zonal | C | 5 A |
| 17 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso izquierda en la cabina delantera       | Zonal | C | 5 A |
| 18 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso derecha en la cabina delantera         | Zonal | C | 5 A |
| 19 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso central en la cabina delantera         | Zonal | C | 5 A |
| 20 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso izquierda en la cabina trasera         | Zonal | C | 5 A |
| 21 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso derecha en la cabina trasera           | Zonal | C | 5 A |
| 22 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso central en la cabina trasera           | Zonal | C | 5 A |
| 23 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso del compartimento de carga delantero   | Zonal | C | 5 A |
| 24 | Inspección visual general externa de la zona bajo el piso del compartimento de carga trasero     | Zonal | C | 5 A |
| 25 | Inspección visual general del baño   | Zonal | C | 4 A |
| 26 | Inspección visual general del guardarropa  | Zonal | C | 4 A |
| 27 | Inspección visual general del guardarropa del bufete   | Zonal | C | 4 A |
| 28 | Inspección visual general de los actuadores de trim tab del elevador                             | Zonal | C | C   |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|    |   |                          |    |     |
|----|---|--------------------------|----|-----|
| 29 | Inspección visual general interna de las alas(STN YC0.00 a YW45.00)                       | Zonal                    | 3C | C   |
| 30 | Inspección visual general interna de las alas (STN YW45.00 a YW139.00)                    | Zonal                    | 3C | C   |
| 31 | Inspección visual general interna de las alas (STN Yw139.00 a YW171.12)                   | Zonal                    | 3C | C   |
| 32 | Inspección visual general interna de las alas (STN YW 171.20 a YW405.00)                  | Zonal                    | 2C | C   |
| 33 | Inspección visual general interna de las alas desde STN YW405.00 al final de la caja alar | Zonal                    | 3C | C   |
| 34 | Inspección visual general interna del riel de los flaps #4                                | Zonal                    | C  | 5 A |
| 35 | Inspección visual general interna del riel de los flaps #5                                | Zonal                    | C  | 5 A |
| 36 | Inspección visual general externa del alas(STN YC0.00 a YW45.00)                          | Zonal                    | C  | 5 A |
| 37 | Inspección visual general externa de las alas (STN YW45.00 a YW139.00)                    | Zonal                    | C  | 5 A |
| 38 | Inspección visual general externa de las alas (STN Yw139.00 a YW171.12)                   | Zonal                    | C  | 5 A |
| 39 | Inspección visual general externa de las alas (STN YW 171.20 a YW405.00)                  | Zonal                    | C  | 5 A |
| 40 | Inspección visual general externa de las alas desde STN YW405.00 al final de la caja alar | Zonal                    | C  | 5 A |
| 41 | Inspección visual general externa del riel de los flaps #4                                | Zonal                    | C  | 5 A |
| 42 | Inspección visual general externa del riel de los flaps #5                                | Zonal                    | C  | 5 A |
| 43 | Inspección visual general externa de los flaps exteriores                                 | Zonal                    | C  | 5 A |
| 44 | Inspección visual general interna de la puerta de pasajeros                               | Zonal                    | C  | C   |
| 45 | Inspección visual de los actuadores de trim tab del elevador                              | Tarjeta de mantenimiento | C  | C   |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|    |  |                          |        |       |
|----|--|--------------------------|--------|-------|
| 46 | Inspección visual de los rieles y transportadores de los flaps   | Tarjeta de mantenimiento | C      | 5 A   |
| 47 | Inspección visual de los mecanismos de las puertas de pasajeros  | Tarjeta de mantenimiento | 5A     | 5 A   |
| 48 | Inspección visual general de los drenajes de la puerta de pasajeros  | Tarjeta de mantenimiento | 1 año  | A     |
| 49 | Inspección visual general interna de la estructura bajo el piso de la cabina delantera y las válvulas de drenaje | Tarjeta de mantenimiento | 2 años | 1 año |
| 50 | Inspección visual general interna de la estructura bajo el piso de la cabina trasera y las válvulas de drenaje   | Tarjeta de mantenimiento | 2 años | 1 año |
| 51 | Inspección visual general interna de la estructura bajo el piso de la cabina de carga y las válvulas de drenaje  | Tarjeta de mantenimiento | 2 años | 1 año |

Aquellos intervalos en los que los nuevos tiempos calculados están por encima de los que usa el operador actualmente, se dejan con este último puesto que como está descrito en la parte de marco legal, la finalidad de este estudio es optimizar los intervalos de mantenimiento bajo los requerimientos mínimos establecidos por el fabricante y nunca por encima de ellos. La creación de las nuevas tarjetas de mantenimiento está resumida en la Tabla 12, las cuales se crean a partir de las necesidades que se observan que el operador tiene, para prevenir de forma eficaz la corrosión. En las tarjetas de inspección zonal debajo de los pisos, se agrega una recomendación que especifique la inspección de la condición de los recubrimientos y el reporte de cualquier daño por más mínimo que se observe.

**Tabla 2. Propuesta de las nuevas tarjetas de mantenimiento**

| Ítem | Descripción   | Intervalo |
|------|---|-----------|
| 1    | Limpieza de la cabina de pasajeros teniendo un especial cuidado con las zonas de los rieles de las sillas * | 4 A       |
| 2    | Limpieza general interna de la zona bajo el piso derecha en el compartimento de nariz *                     | 4 A       |
| 3    | Limpieza general interna de la zona bajo el piso izquierda en el compartimento de nariz *                   | 4 A       |
| 4    | Limpieza general interna de la zona bajo el piso izquierda en el compartimento de vuelo *                   | 4 A       |
| 5    | Limpieza general interna de la zona bajo el piso derecha en el compartimento de vuelo *                     | 4 A       |
| 6    | Limpieza general interna de la zona bajo el piso  | 4 A       |

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

|    |   |     |
|----|---|-----|
|    | izquierda en la cabina delantera *  |     |
| 7  | Limpieza general interna de la zona bajo el piso derecha en la cabina delantera *       | 4 A |
| 8  | Limpieza general interna de la zona bajo el piso central en la cabina delantera *       | 4 A |
| 9  | Limpieza general interna de la zona bajo el piso izquierda en la cabina trasera *       | 4 A |
| 10 | Limpieza general interna de la zona bajo el piso derecha en la cabina trasera *         | 4 A |
| 11 | Limpieza general interna de la zona bajo el piso central en la cabina trasera *         | 4 A |
| 12 | Limpieza general interna de la zona bajo el piso del compartimento de carga delantero * | 4 A |
| 13 | Limpieza general interna de la zona bajo el piso del compartimento de carga trasero *   | 4 A |
| 14 | Inspección de la condición del drenaje del baño en busca de fugas                       | 4 A |

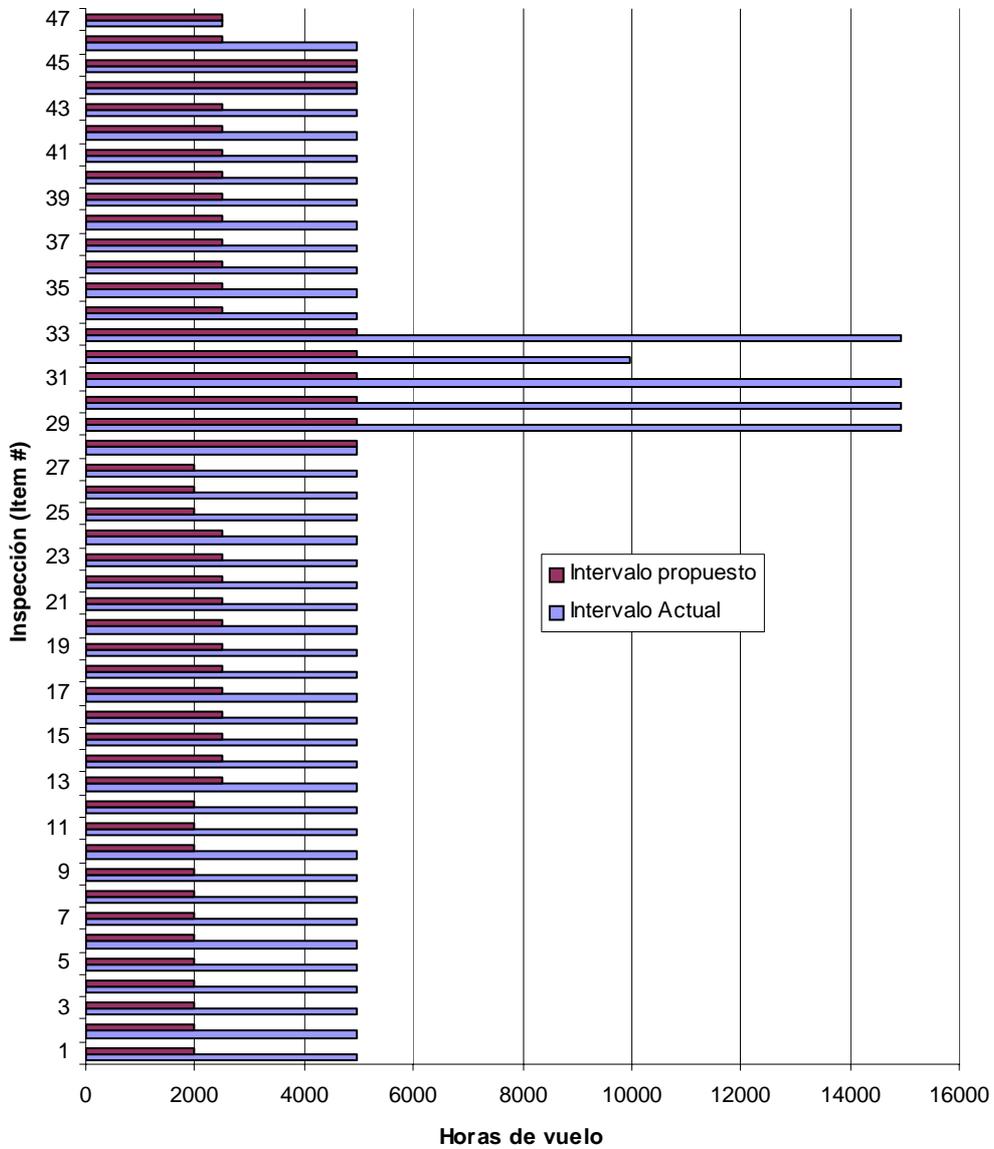
\* La limpieza se puede hacer en conjunto con las tarjetas de inspección zonal correspondientes a cada una de las áreas respectivas.

En la Figura 25 se comparan los intervalos utilizados actualmente por el operador y los propuestos como resultados del análisis hecho durante el proyecto. Las inspecciones están identificadas con el número de ítem utilizado en la Tabla 11. En la Figura 26 se puede observar la comparación de las inspecciones dadas en tiempo calendario.

En el momento de proteger una aeronave, ya sea por ataque ambiental, por el tipo de trabajo que realiza o por el tipo de carga que lleva, es aconsejable tener en cuenta las sugerencias que realiza el fabricante en cuanto al uso de productos, lo más importante es conocer el material que se desea proteger (si es aluminio o si es acero y sus elementos aleantes), su posición dentro de la aeronave (si hace parte de la estructura primaria, del compartimento de carga o quizá áreas aisladas) y conocer las características de los productos disponibles en el mercado ya que no todos funcionan de la misma manera, ni protegen igual, ni tampoco sirven para todos los tipos de material. Es conveniente aplicar de manera acertada el manual de prevención y control de corrosión CPCP, pues este brinda tanto al operador como a la flota de aviones unas pautas para un óptimo control y prevención de ésta, prolongando la vida estructural y la integridad de la aeronave, economizando en tiempo en tierra y costos adicionales que conllevaría no tener este programa.

|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 25. Comparación de los nuevos intervalos de mantenimiento**



|           |                        |
|-----------|------------------------|
| NÚMERO RA |                        |
| PROGRAMA  | INGENIERÍA AERONÁUTICA |

**Figura 26. Comparación de los nuevos intervalos de mantenimiento**

