

**Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de la FAC para prevenir el deterioro prematuro del parque automotor por factores ambientales en zonas costeras del Atlántico y San Andrés.**

Iván Mauricio Aguirre Arias & Juan Carlos Gómez Benavides

Universidad ECCI, Dirección de Posgrados, Especialización en Gerencia de  
Mantenimiento

Mg. Miguel Angel Urián Tinoco.

### **Dedicatorias**

Dedico esta tesis a mi Familia por el apoyo brindado cada día, quiero que hagan parte de esta alegría que sin ustedes no hubiera sido posible. Así mismo, quiero reconocer a un compañero especial que sin su presión y ayuda no hubiera culminado con esta Especialización.

*Iván Aguirre*

Dedico este trabajo de grado a mi Madre por todo el apoyo moral que me ha brindado, quiero que haga parte de una alegría más y porque sin ella no hubiese sido posible. También a una Ingeniera Industrial, ya que sin su gran apoyo y asesoría no hubiese culminado esta especialización.

*Juan Gómez*

### **Agradecimientos**

Como siempre en mi vida quiero primero agradecer a Dios, Él ha hecho todo esto posible gracias a que su bondad es infinita y sus bendiciones siempre están conmigo, a mi Padres por ese impulso que me dieron para completar mis sueños y siempre estuvieron motivándome para siempre alcanzar mis objetivos personales y profesionales, a mi esposa por ser esa persona incondicional y sacrificar de su tiempo en familia y en especial al amor de mi vida, hijo gracias a ti retome mis actividades académicas, fuiste esa motivación extra que ayudo a que cada día me esforzara por ser el mejor y siempre serás esa personita que me impulsara a querer más.

Cada año vivido en la Universidad ha sido maravilloso, por eso mis agradecimientos a los profesores y compañeros y a todas esas personas que de una u otra manera me ayudaron con sus conocimientos y sus alientos para continuar.

Por todo lo anterior puedo decir que me he formado como un profesional íntegro y como una persona con excelentes valores para afrontar los días venideros.

*Iván Aguirre*

Agradezco en primer lugar a Dios y a todos los santos, gracias a ellos esto pudo ser posible; a mi Madre por el impulso que me brinda a diario de alcanzar todas mis metas tanto personales como profesionales y a mí mismo por proponerme llenar mi vida de éxitos

Así mismo, agradezco cada día vivido en la Universidad, por ello mis agradecimientos a todas las personas que estuvieron presentes en mi entorno, como amigos, profesores y compañeros que de una u otra forma me ayudaron con sus conocimientos y sus alientos para continuar.

*Juan Gómez*

## Tabla de Contenidos

1	Título de la investigación.....	11
2	Problema de investigación .....	11
2.1	Descripción del problema .....	11
2.1.1.	Antecedentes .....	11
2.1.1	Estado actual de los vehículos .....	17
2.2	Planteamiento del problema.....	20
2.3	Sistematización del problema .....	20
3	Objetivos de la investigación .....	21
3.1	Objetivo general.....	21
3.2	Objetivos específicos .....	21
4	Justificación y delimitación .....	22
4.1	Justificación .....	22
4.2	Delimitación.....	23
4.3	Limitaciones.....	23
5	Marco conceptual.....	24
5.1	Estado del arte.....	24
5.1.1	Proyectos sobre diseño de planes de mantenimiento.....	24
5.1.2	Corrosión de estructuras por ambientes salinos.....	26
5.1.3	Alternativas de recubrimiento para evitar la corrosión.....	29
5.1.4	Resumen.....	31

5.2	Marco teórico .....	32
5.2.1	Mantenimiento .....	32
5.2.2	Método AMEF .....	33
5.2.3	Funciones - misiones y operaciones tipo de la Fuerza Aérea Colombiana... 34	
5.2.4	Definición de acuerdo con el uso .....	34
5.2.5	Preámbulo a la corrosión .....	36
5.2.6	La corrosión en elementos ferrosos .....	37
5.3	Marco legal .....	39
6	Marco metodológico .....	39
6.1	Recolección de la información.....	40
6.1.1	Tipo de investigación .....	40
6.1.2	Fuentes de obtención de la información .....	41
6.1.3	Herramientas .....	42
6.1.4	Metodología .....	42
6.1.5	Información recopilada .....	43
6.2	Análisis de la información .....	50
6.2.1	Taxonomía .....	50
6.2.2	Matriz AMEF.....	54
6.2.3	Desarrollo matriz DOFA.....	55
6.3	Propuesta de solución .....	56
7	Impacto esperado .....	60
7.1	Impactos alcanzados .....	60
7.1.1	Actividad mantenimiento (impermeabilización) .....	58

7.2	Impactos esperados .....	60
8	Análisis Financiero .....	61
8.1	Costo impermeabilización y lavado de partes .....	61
8.2	Costo compra flota nueva .....	62
9	Conclusiones y Recomendaciones .....	63
9.1	Conclusiones .....	63
9.2	Recomendaciones .....	64
10	Bibliografía .....	64

## Lista de Imágenes

Imagen 1 Automotores Chatarrizados en las Zonas de Atlántico y San Andrés .....	12
Imagen 2 Automotores Chatarrizados que no Cumplieron su Vida Útil.....	13
Imagen 3 Automotores Chatarrizados por Tipología en las Zonas de Atlántico y San Andrés ...	14
Imagen 4 Automotores Chatarrizados por Tipología que no Cumplieron su Vida Útil .....	15
Imagen 5 Automotores Chatarrizados por Zona que no Cumplieron su Vida Útil .....	16
Imagen 6 Automotores Chatarrizados por Tipología que no Cumplieron su Vida Útil (zona centro) .....	17
Imagen 7 Estado Actual del Parque Automotor .....	18
Imagen 8 Efecto de Concentración de OH- en la Punta de un Hilo en la Corrosión filiforme.....	37
Imagen 9 Tipos de investigación .....	41
Imagen 10 Planes de Mantenimiento por Marca y Línea (SAP-ERP).....	44
Imagen 11 Hoja de Vida Vehículo.....	45
Imagen 12 Rutinas de Mantenimiento .....	46
Imagen 13 Actividades de Mantenimiento .....	47
Imagen 14 Registro Fotográfico Visita.....	49
Imagen 15 Tipologías Parametrizadas de los Vehículos en la Herramienta SAP-ERP .....	51
Imagen 16 Tipologías Propuestas para Parametrizar en SAP-ERP .....	52
Imagen 17 Actividades para la ejecución de la impermeabilización .....	58

## Lista de Tablas

Tabla 1 Vehículos Pendientes por Chatarrizar.....	19
Tabla 2 Valor Estimado por Unidad de los Vehículos a Reemplazar.....	20
Tabla 3 Norma, Ley o Procedimiento.....	39
Tabla 4 Encuesta Grado de Afectación por Tipología.....	48
Tabla 5 Grado de Exposición.....	52
Tabla 6 Matriz AMEF.....	54
Tabla 7 Matriz DOFA.....	55
Tabla 8 Actividades de Impermeabilización de Partes.....	59
Tabla 9 Costos Impermeabilización Parque Automotor.....	61
Tabla 10 Costos Lavado Parque Automotor.....	62
Tabla 11 Costos Flota Nueva.....	63

## **Resumen**

El parque automotor de la FAC de las zonas costeras del Atlántico y San Andrés tiene una vida útil de aproximadamente de 6,5 años a causa de la exposición a ambientes de alta salinidad, lo que ocasiona que sus piezas se deterioren y los vehículos se deban chatarrizar.

Por lo anterior, se propone este proyecto que tiene como objetivo generar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento de dicho parque automotor, para prevenir el deterioro prematuro en sus piezas por factores ambientales; con el fin de maximizar su vida útil y reducir costos. Para ello se realizó un estudio de taxonomía del parque automotor, clasificándolo por tipologías y así, determinar el grado de exposición de contacto con las zonas de alta y baja salinidad; por otro lado, se investigó sobre los diferentes métodos anticorrosivos aplicables a automotores expuestos a estas condiciones y por último se propuso una mejora del plan de mantenimiento actual, incluyendo actividades específicas, enfocadas a la prevención de la aceleración de la corrosión.

Con lo anterior, se evidenció que las tipologías con mayor grado de exposición fueron camionetas y motocicletas, sin embargo, y debido al estado actual de todo el parque automotor se propuso aplicar actividades específicas de mantenimiento a los 82 vehículos que lo componen, utilizando un método de recubrimiento no metálico y actividades de lavado preventivas.

Llegando a la conclusión de que solo se invertiría el 3,96% del valor total de la reposición de todos los vehículos y aumentaría su vida útil en un 50%.

## **Palabras clave**

Corrosión, ambientes salinos, plan de mantenimiento, AMEF, recubrimiento no metálico, anticorrosivo, impermeabilización, chatarrizar, vehículos.

### **Abstract**

The FAC automotive fleet of the coastal areas of the Atlantic and San Andrés has a useful life of approximately 6.5 years due to exposure to high salinity environments, which causes its parts to deteriorate and the vehicles must be scrapped.

For the above, this project is proposed that aims to generate a proposal of improvement to the maintenance plan of said vehicle fleet, to prevent premature deterioration in its pieces due to environmental factors; in order to maximize its useful life and reduce costs. For this, a taxonomy study of the vehicle fleet was carried out, classifying it by typology and thus determining the degree of exposure to contact with high and low salinity areas; On the other hand, it was investigated about the different anticorrosive methods applicable to the automotive fleet exposed to these conditions and finally an improvement of the current maintenance plan was proposed, including specific activities, focused on the prevention of the acceleration of corrosion.

With the above, it was evidenced that the typologies with the highest degree of exposure were pickups and motorcycles, however, and due to the current state of the entire fleet, it was proposed to apply specific maintenance activities to the 82 vehicles that comprise it, using a non-metallic coating method and a preventive washing activities. Concluding that only 3.96% of the total replacement value of all vehicles would be invested and their useful life would increase by 50%.

### **Keywords**

Corrosion, saline environments, maintenance plan, MFEA, non-metallic coating, anticorrosive, Waterproofing, scrapped, vehicles.

## **1 Título de la investigación**

Propuesta de mejora del plan de mantenimiento de la FAC para prevenir el deterioro prematuro del parque automotor por factores ambientales en zonas costeras del Atlántico y San Andrés.

## **2 Problema de investigación**

### **2.1 Descripción del problema**

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) cuenta con un parque automotor de 82 vehículos multimarca para las zonas de San Andrés y Atlántico (el 7% a nivel nacional) los cuales realizan actividades de seguridad y defensa de bases, logística terrestre, transporte de personal y tareas administrativas; sin embargo, estos se encuentran ubicados en zonas de alta salinidad, como Malambo – Atlántico y el archipiélago de San Andrés Islas. Debido a lo anterior, la vida útil de los automotores se reduce al 50% al no poseer un plan de mantenimiento diseñado para sus diferentes tipologías (motos, automóviles, camionetas, buses, camiones y carrotanques) en tiempo y kilometraje ni a las características de la zona, lo que genera sobre costos.

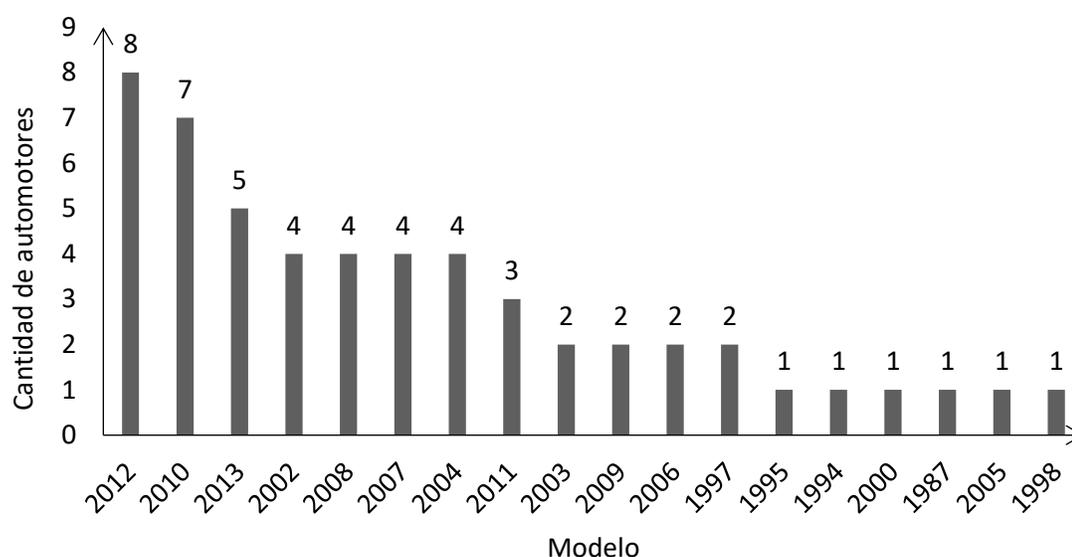
Este proyecto surge de la necesidad de mejorar e incrementar la eficiencia del mantenimiento, con el fin de minimizar el desgaste prematuro de las piezas o componentes de los vehículos y así mismo, aumentar su vida útil.

#### *2.1.1. Antecedentes*

Al año 2019 la FAC de las zonas de San Andrés y Atlántico, ha dado de baja a 53 automotores, de los cuales el 54% no cumplió su vida útil estimada; y del total de chatarrizados se atribuye el 77% a causa de la corrosión. Cabe aclarar, que la vida útil de un automotor es de aproximadamente 10 años o 200.000 kilómetros según condición.

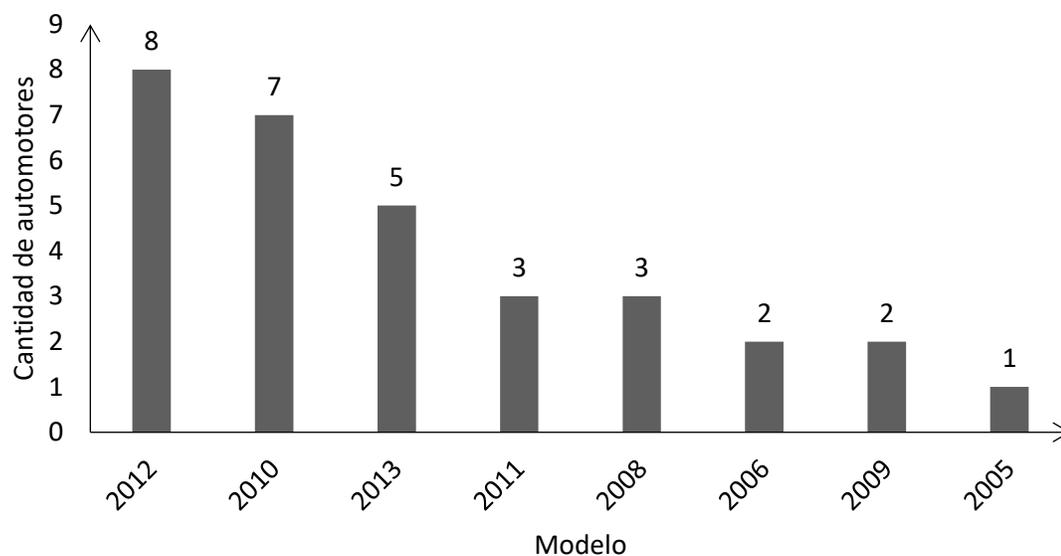
### ***Imagen 1***

#### ***Automotores Chatarrizados en las Zonas de Atlántico y San Andrés***



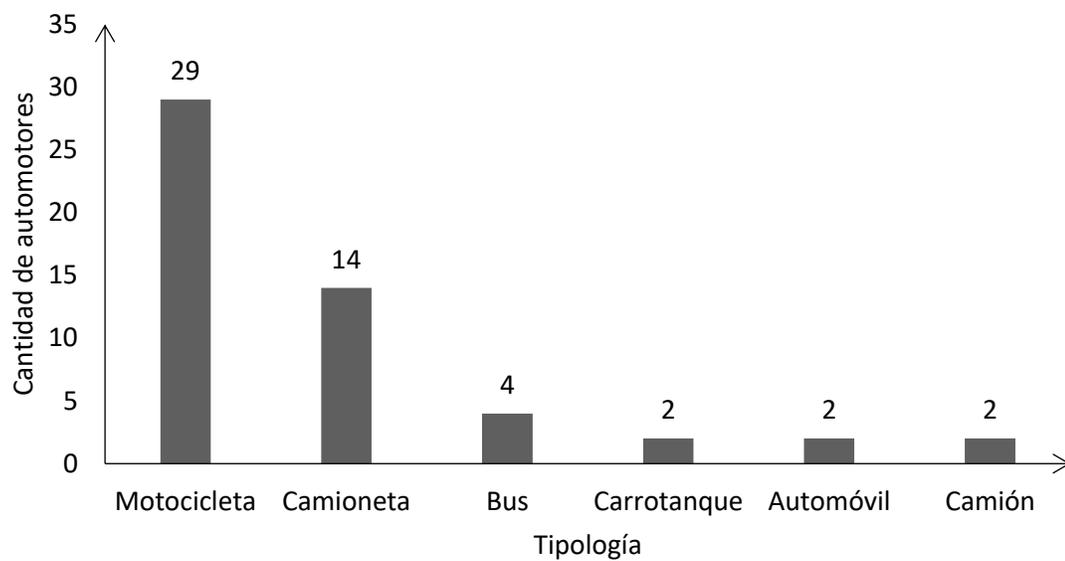
**Nota.** Dentro del periodo de análisis se han chatarrizado 53 vehículos de diferentes tipologías.

La anterior gráfica muestra el comportamiento de la chatarrización de los automotores según su modelo; se puede evidenciar que los automotores que más se han chatarrizado son los de modelo 2012 (8 vehículos), 2010 (7 vehículos) y 2013 (5 vehículos); donde del total de chatarrizados se atribuye el 77% a causa de la corrosión en elementos como la carrocería, suspensión y frenos. Por otro lado, dentro de los automotores la tipología que más incidencia tiene son las motocicletas (17 vehículos).

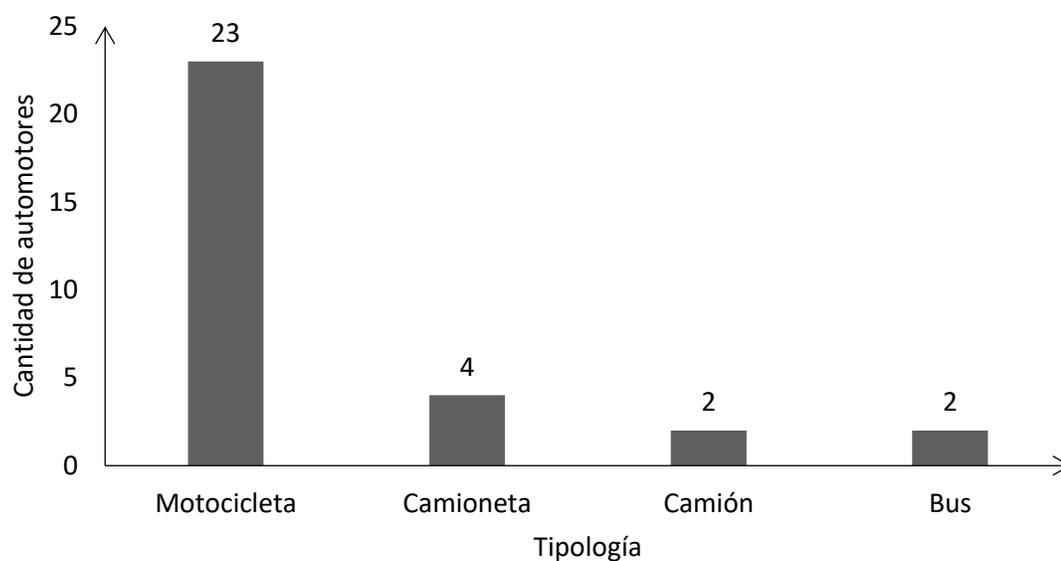
**Imagen 2*****Automotores Chatarrizados que no Cumplieron su Vida Útil.***

**Nota.** Dentro del periodo de análisis se han chatarrizado 31 vehículos que aún no cumplían su vida útil.

Además, se puede evidenciar que los automotores más chatarrizados que no cumplieron su vida útil, son los modelos 2012, 2010 y 2013, donde las motocicletas no superan los cuatro (4) años de uso y una camioneta y un bus no superan los seis (6) años de movilización.

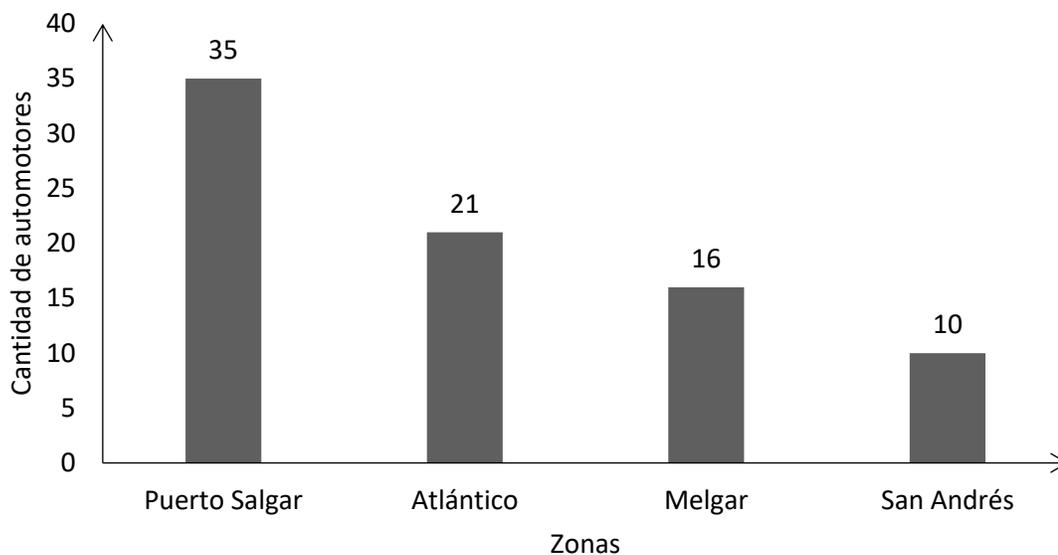
**Imagen 3*****Automotores Chatarrizados por Tipología en las Zonas de Atlántico y San Andrés***

**Nota.** También, tienen una incidencia significativa dentro de los automotores chatarrizados las camionetas, los buses y los camiones, los cuales no superan los 10 años de uso.

**Imagen 4*****Automotores Chatarrizados por Tipología que no Cumplieron su Vida Útil***

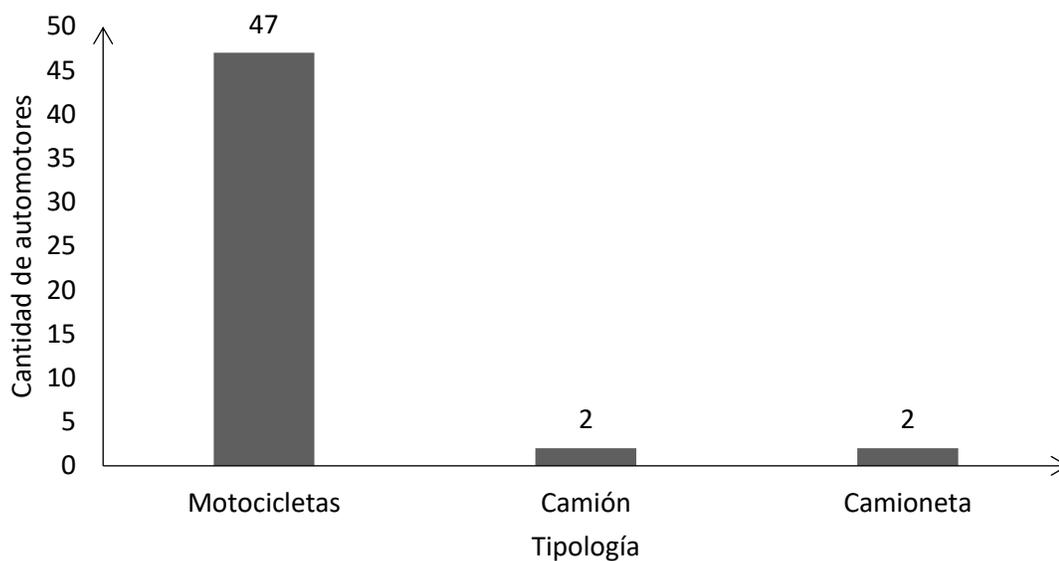
**Nota.** Dentro del periodo de análisis se han chatarrizado 31 vehículos que aún no cumplían su vida útil.

Asimismo, se evidenció que la vida útil en promedio de estos automotores es de aproximadamente 6,5 años, donde la tipología que predomina son las motocicletas con veintitrés (23) automotores chatarrizados, seguido de las camionetas con cuatro (4) unidades.

**Imagen 5****Automotores Chatarrizados por Zona que no Cumplieron su Vida Útil**

**Nota.** Dentro del periodo de análisis se han chatarrizado 82 vehículos que aún no cumplían su vida útil en las zonas centro y costa del país.

Por otra parte, se puede observar que en las zonas centro de Colombia también hay vehículos chatarrizados antes de cumplir su vida útil, donde Puerto Salgar cuenta con 35 automotores dados de baja, pero por factores como: vehículos siniestrados o donados por la DIAN con un alto grado de desgaste en sus piezas; factores diferentes a los de las zonas costeras (San Andrés y Atlántico).

**Imagen 6****Automotores Chatarrizados por Tipología que no Cumplieron su Vida Útil (zona centro)**

**Nota.** Dentro del periodo de análisis se han chatarrizado 51 vehículos que aún no cumplían su vida útil en la zona centro del país.

De igual forma, se sigue evidenciando que el vehículo más chatarrizado en las zonas de Puerto Salgar y Melgar (zona centro del País) son las motocicletas (47 automotores), donde 40 de estas fueron donados y con fallas mecánicas, y 7 tenían algún siniestro.

**2.1.1 Estado actual de los vehículos**

En las Unidades Militares Aéreas objeto de investigación se cuenta con un parque automotor de 82 vehículos en total. Se pueden identificar vehículos en alto estado de deterioro debido a su entorno operacional.

*Imagen 7*

*Estado Actual del Parque Automotor*



**Nota: Vehículos pertenecientes a la base CACOM 3. (Malambo, Atlántico)**

***Tabla 1***

***Vehículos Pendientes por Chatarrizar***

<b>Tipología</b>	<b>Modelo</b>	<b>Fecha de Baja</b>
Camionetas	1992	Pendiente
Camionetas	2008	Pendiente
Camionetas	1993	Pendiente
Motocicleta	2016	Pendiente
Motocicleta	2016	Pendiente

**Nota. Están pendientes por dar de baja a 3 camionetas (modelos 1992, 1993 y 2008) y 2 motocicletas (modelo 2016).**

Debido a la falta de un plan de mantenimiento óptimo para su lugar de operación, los vehículos reducen su vida útil en un 54% y aumentan los costos de mantenimiento. Además, los costos de reparación en muchos casos exceden el 50% del valor comercial del vehículo y, de acuerdo con el Manual de Bienes del Ministerio de Defensa Nacional y al Manual de Transporte Terrestre (MATTE 2da edición de la Fuerza Aérea) se autoriza por parte de la dirección logística de servicios la baja de los automotores; creando la necesidad de reemplazarlos con los proyectos de inversión, de adquisición y renovación del parque automotor.

**Tabla 2****Valor Estimado por Unidad de los Vehículos a Reemplazar**

<b>Tipo Vehículo</b>	<b>Valor Estimado</b>
Automóvil	\$ 53.000.000
Bus	\$ 390.000.000
Camión	\$ 205.000.000
Camioneta	\$ 130.000.000
Carrotanque Agua	\$ 460.000.000
Motocicleta	\$ 13.000.000

**Nota.** La anterior tabla muestra el valor estimado por unidad de los automotores posibles reemplazar.

## **2.2 Planteamiento del problema**

La siguiente pregunta de investigación permitirá enfocar este proyecto hacia la mejora continua del mantenimiento realizado al parque automotor de la zona costera de Malambo y San Andrés:

¿Cómo diseñar una mejora del plan de mantenimiento de la FAC para prevenir el deterioro prematuro por factores ambientales del parque automotor ubicado en zonas costeras del Atlántico y San Andrés?

## **2.3 Sistematización del problema**

¿El método más adecuado para determinar el rango de contacto que tienen los vehículos con zonas de alta y baja salinidad es a través de un estudio de taxonomía?

¿Es suficiente realizar una investigación de la aplicación de agentes o productos anticorrosivos en vehículos o estructuras para determinar cuál emplear para mitigar la aceleración de la corrosión en los vehículos?

¿Implementar la metodología AMEF, es la forma más adecuada para estructurar la mejora del plan de mantenimiento?

### **3 Objetivos de la investigación**

#### **3.1 Objetivo general**

Generar una propuesta de mejora al plan de mantenimiento del parque automotor de la FAC en las zonas costeras del Atlántico y San Andrés, para prevenir el deterioro prematuro en sus piezas por factores ambientales; con el fin de maximizar su vida útil y reducir costos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Desarrollar un estudio de taxonomía de los automotores ubicados en Malambo y San Andrés a través de una base de datos, con el fin de determinar el rango de contacto con zonas de alta o baja salinidad.

Identificar el método anticorrosivo adecuado para implementar en los automotores de la FAC, mediante la investigación de diferentes técnicas utilizadas en vehículos o estructuras expuestas a condiciones de alta salinidad, con el fin disminuir la aceleración de la corrosión en dichos vehículos.

Estructurar la mejora del plan de mantenimiento mediante la metodología AMEF (análisis de modo y efecto de falla), con el fin de, parametrizarlo en la herramienta tecnológica de mantenimiento SAP - ERP.

## **4 Justificación y delimitación**

### **4.1 Justificación**

Este proyecto tiene como fin, contribuir a la misión de la Fuerza Aérea Colombiana “*Volar, entrenar y combatir para vencer y dominar en el aire, el espacio y el ciberespacio, en defensa de la soberanía, la independencia, la integridad territorial, el orden constitucional y contribuir a los fines del Estado*”, debido a que se logrará extender la vida útil de los vehículos y así obtener un alistamiento vehicular más efectivo, contribuyendo a la austeridad en el gasto, ordenado por la Presidencia de la República para las entidades del Estado, por lo tanto, la Institución podrá reducir parte de su presupuesto de inversión para adquisición y renovación del parque automotor, y ser utilizado en otros recursos necesarios para elevar la moral del personal que pertenece a la Fuerza, como es la adquisición de capacitación y entrenamiento en todas las ramas y/o especialidades del personal como son Logística, Mantenimiento, Administración y Vuelo, entre otras.

La planeación en mantenimiento permitirá que los vehículos estén disponibles y en buenas condiciones de confort y seguridad, para que el personal de Oficiales, Suboficiales y Soldados puedan desarrollar sus patrullajes de vigilancia, permitiendo y asegurando que la comunidad se sienta tranquila al observar que la Fuerza Aérea está presente, así mismo, permitirá tener vehículos como buses y camiones para realizar labores sociales como las jornadas de apoyo

al desarrollo, donde se realiza transporte de equipos médicos, personal sanitario y personal para llevar alegría a los niños con recreacionistas, todo esto enfocado a las comunidades vulnerables más distantes de la región y de escasos recursos económicos, adicional se podrá tener la capacidad para apoyar con carrotanques de agua en momentos de ausencia de este recurso y a poblaciones donde este líquido es imposible llegar con las redes de acueducto de los municipios.

Una vez se logre cumplir con el objetivo del presente proyecto, se podrá implementar en el software SAP - ERP, obteniendo con esto, que el personal de mantenimiento automotor de las Escuadrillas de Transporte conozca dichos planes y puedan llevarlos a cabo, para beneficio de toda la Institución y en general a toda la comunidad cercana de estas Unidades Militares Aéreas.

#### **4.2 Delimitación**

El presente trabajo y propuesta de mejora, se enfocará exclusivamente al parque automotor de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) ubicado en la zona costera de Colombia, específicamente en las ciudades de Malambo Atlántico y San Andrés Islas con un total de 82 vehículos; en este proyecto se planteará la mejora del plan de mantenimiento actual.

#### **4.3 Limitaciones**

Una limitación y la más importante es la aprobación de la mejora del plan de mantenimiento por parte de la Fuerza Aérea Colombiana, y con ella la posibilidad de implementarlo. Asimismo, la modificación del software de mantenimiento para la inclusión de la actualización de los criterios como kilometraje, tiempo y actividades a realizar.

Por otro lado, la imposibilidad de visitar el parque automotor para realizar inspecciones y pruebas visuales de la ejecución de las actividades del plan de mantenimiento actual, debido a los protocolos generados por los entes reguladores para mitigar el contagio por Covid-19.

## **5 Marco conceptual**

### **5.1 Estado del arte**

Debido a la particularidad del problema de investigación, se realiza una investigación teórica encontrando que, para el caso específico de la afectación de vehículos en ambientes salinos, la información fue nula; sin embargo, con respecto a temas de diseño de planes de mantenimiento, corrosión de partes y alternativas para evitar la corrosión, se evidenció documentos internacionales y nacionales, los cuales se clasifican de la siguiente manera: proyectos sobre diseño de planes de mantenimiento, corrosión de estructuras por ambientes salinos y alternativas de recubrimiento para evitar la corrosión.

#### ***5.1.1 Proyectos sobre diseño de planes de mantenimiento***

##### **5.1.1.1 Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de Integra S.A. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).**

Este trabajo de grado fue realizado por el estudiante Juan David Montes Villada de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia) para optar el título de Ingeniero Mecánico en el año 2013; el cual, consiste en el diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de la empresa Integra S.A que es operadora de transporte masivo de Megabus S.A en la ciudad de Dosquebradas.

La metodología usada para el diseño del plan fue el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM (Reliability Centered Maintenance), adicional, desarrolló una matriz AMEF (análisis de modo y efecto de falla) para definir las actividades que contemplaría el plan, obteniendo resultados tales como la identificación del número de prioridad del riesgo (NPR) de cada uno de los componentes y los sistemas más críticos como lo fueron suspensión, frenos y dirección. (Montes Villada, 2013) Este proyecto de investigación aporta la forma de aplicar la metodología AMEF al momento de diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM.

#### **5.1.1.2 Tratamientos anticorrosivos a base de pinturas especializadas para sistemas metálicos aplicados a una sala de máquinas de un buque.**

Este trabajo de fin de grado fue realizado por el estudiante Miguel Ángel Cuesta Díaz de la Universidad de Cantabria (España) para obtener el título de Ingeniero Marítimo en el año 2017. Consiste en el desarrollo de una matriz de selección de procedimientos de pintura, aplicados a una sala de máquinas de un buque, desde la perspectiva de aplicación de la normativa internacional existente.

Este trabajo presenta una metodología que emplea y utiliza diferentes normas, detallando la aplicación de estas en una sala de máquinas sin definir el tipo de buque, dando lugar a desarrollar una selección de materiales a partir de los sistemas que componen la sala de máquinas y de las condiciones de trabajo de aquéllas. Asimismo, a partir de los materiales obtenidos, se estudia, para cada fase del protocolo de pintura, la normativa adecuada aplicable a los mismos. (Cuestas, 2017) El anterior trabajo de grado aporta significativamente al proyecto debido a que, en él se plasma las diferentes técnicas de preparación de superficies metálicas y aplicación de pinturas anticorrosivas.

### **5.1.1.3 Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM, para los equipos y vehículos de Dinacol S.A.**

Esta monografía fue realizada por el estudiante Marco Antonio Cárdenas Maza para la obtención del título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Tecnológica de Bolívar (Colombia) en el año 2011; el cual, consiste en el diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM (Reliability Centered Maintenance), para los equipos y vehículos de DINACOL S.A. en la ciudad de Cartagena.

La metodología usada para el diseño del plan, fue el mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, además, mediante un trabajo de campo y observación directa de las actividades de mantenimiento de las máquinas, equipos y vehículos de la empresa, se desarrolla la propuesta de mejora, que facilite la operación y toma decisiones en los costos de mantenimiento de estos sistemas; por lo anterior, el autor obtiene resultados la optimización de tiempos de ejecución de las tareas de mantenimiento, generando confiabilidad en los equipos, así mismo, este trabajo permitió la identificación de fallas y una pronta atención a estas sin provocar paradas innecesarias. (Maza, 2011) Debido a la similitud del desarrollo de la monografía, con la metodología que se plantea en este proyecto, es de gran importancia la anterior citación ya que servirá como guía para el desarrollo del plan de mantenimiento.

## **5.1.2 Corrosión de estructuras por ambientes salinos**

### **5.1.2.1 Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos.**

Este artículo de investigación fue realizado por la Ing. Verónica Ávila Ayón, Dr. Ing. Ana Luisa Rodríguez Quesada y la Ing. Yecenia Lías Rodríguez, para la revista trimestral del Centro de

Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba (Holguín, Cuba) en el año 2005 (octubre-diciembre); el cual, consiste en abordar los elementos esenciales relacionados con el deterioro de las edificaciones construidas con estructuras metálicas, producidos principalmente por la exposición de las estructuras a un medio agresivo (zonas costeras), donde intervienen factores de aceleración de la corrosión como lo son, el aerosol marino y los contaminantes, la temperatura, la humedad relativa, volúmenes de precipitaciones y características de los vientos, los cuales, son obtenidos durante la investigación.

La metodología para el desarrollo de este artículo fue inducción-deducción a partir de situaciones concretas, recopilando información para analizarla en un marco teórico general, que permita la valoración de la situación del sector en el entorno internacional y nacional. También, mediante el método de análisis y síntesis, se determinó los factores claves que influyen en el fenómeno y se interrelacionó los efectos presentados que aportan explicaciones al problema. Además, se implementó un método de observación, el cual acudió al conocimiento del problema, para mantener el vínculo con el personal en relación con el objeto, a través de encuestas. Lo anterior, arrojó que los factores de humedad relativa y aerosol salino influyen notoriamente en la aceleración de la corrosión en las estructuras metálicas; permitiendo así la elección de los barnices correctos, como inhibidores de corrosión. (Ayón et al., 2005) El anterior artículo aporta significativamente al proyecto, ya que en él se pueden identificar los distintos factores medio ambientales de aportan a la aceleración de la corrosión de estructuras metálicas.

### **5.1.2.2 Corrosión atmosférica del acero bajo en carbono en un ambiente marino polar. Estudio del efecto del régimen de vientos.**

Este artículo de investigación fue realizado por S. Rivero, B. Chico, D. de la Fuente y M. Morcillo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República Montevideo (Uruguay) y del Departamento de Ingeniería de Materiales del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas de Madrid (España), para la revista trimestral de metalurgia ISSN: 0034-8570 en el año 2007 (septiembre-octubre); este, consiste en estudiar la corrosión atmosférica del acero al carbón (UNE-EN 10130) en un ambiente marino, en función de la salinidad atmosférica del lugar y del tiempo de exposición.

El estudio fue realizado mediante el método experimental con probetas expuestas en un ambiente marino (Base Científica Artigas, Uruguay) durante periodos de 1 a 4 años; obteniendo como resultados que, la atenuación de la corrosión con el tiempo de exposición sigue una función de potencia (modelo bilogarítmico), también que, los vientos marinos influyen en la aceleración de dicha corrosión, donde se verifica que la salinidad ambiente en estos aumenta de 50 a 300 gr/lt para saltos de velocidad de 1-40km/h. (Rivero et al., 2007) El artículo citado, deja en evidencia el comportamiento del acero expuesto a ambientes salinos polares, aportando al trabajo de investigación factores que influyen en la aceleración de la corrosión.

### **5.1.2.3 Corrosión del acero al carbono en una zona cubana muy contaminada por iones cloruro y compuestos de azufre**

Esta revista de investigación fue realizada por Yosmari Adames-Montero, Ileana Rizo-Alvarez, Juan Davis-Harriett, Mercedes Balmayor-Moure, José A. Alonso-Pérez\* y Miguel Cabrales-Fruto, del Centro de Investigaciones del Petróleo (La Abana Cuba), para la revista CENIC

Ciencias Químicas Vol 44 en el año 2013 (diciembre); este, consiste en el estudio cinético de la corrosión y de los productos formados en el acero al carbono expuesto durante tres años en una zona costera industrial en tres estaciones de ensayo, en la cual provee una fuerte contaminación por compuestos de azufre e iones cloruro.

El estudio fue realizado mediante el método experimental con 3 probetas de acero al carbón de 4 mm de espesor expuestas en un ambiente costero industrial de Cuba durante tres años; la primera fue situada a 100m , la segunda a 1100 m y la tercera a 2500m de la costa norte; por lo que arrojó como resultado que, la acción catalítica conjunta de los iones Cl y el  $SO_2$  sobre la corrosión del acero, se presenta con mayor frecuencia en la probeta expuesta a 100m de la costa norte. (Yosmari Adames Montero, 2013) La presente revista, afirma que entre menor sea la distancia a una zona costera, mayor será el grado de corrosión de un acero al carbón.

### ***5.1.3 Alternativas de recubrimiento para evitar la corrosión***

#### **5.1.3.1 Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión.**

Este artículo fue realizado por los ingenieros químicos Lesly Patricia Tejada Benítez, Pedro Javier Meza Castellar, Edgar David Altamiranda Percy y María José Berrocal Bravo de la Universidad de Cartagena (Colombia), para la revista Informador Técnico 155-164 en el año 2014 (julio-diciembre); este artículo consiste en encontrar inhibidores de corrosión que sean ambientalmente amigables y de bajo costo, con el fin de contrarrestar el uso de elementos anticorrosivos ya existentes, los cuales son tóxicos y nocivos para la salud, además de su alto costo.

Este artículo mediante el modo experimental plantea la inhibición a la corrosión del acero dulce, acero al carbono, acero inoxidable, otros metales y aleaciones, y hormigón armado, usando

inhibidores naturales, tales como, patilla, coco, neem, aloe vera, entre otros; por lo anterior, los autores tienen como resultado que, por ejemplo el neem es un inhibidor a la corrosión en el acero al carbono y, el coco y la patilla en el acero dulce. (Benítez et al., 2014) Este artículo aporta al proyecto de investigación alternativas ecológicas para mitigar la aceleración de la corrosión en partes de diferentes materiales como lo son acero inoxidable, acero al carbono entre otros.

### **5.1.3.2 Una alternativa ecológica en el recubrimiento de materiales mediante el uso de convertidores de óxidos aplicados en probetas de acero 1010 expuestas en ambiente salino.**

Este artículo fue realizado por J. Axotla García, O. García León, M. Pineda Becerril, A. Aguilar Márquez, F. León Rodríguez de los Dpto. de Matemáticas y de Química facultad de estudios superiores Cuautitlán UNAM (México), para el XIX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica (Asociación Española de Ingeniería Mecánica), en el año 2012; este artículo consiste en una alternativa ecológica como recubrimiento a materiales como el acero 1010 expuesto a un ambiente salino.

La metodología para el desarrollo del trabajo fue de forma experimental, donde se evaluó el desempeño que tiene el alcohol isopropílico y una combinación al 50% de alcohol isopropílico con alcohol terbutílico, como vehículo para la formación de convertidores de óxidos mediante el uso de los ácidos tánico y fosfórico a diferentes concentraciones, los cuales fueron aplicados a probetas de prueba de un acero normalizado SAE 1010; obteniendo resultados donde, la mezcla ya mencionada, como disolvente para una concentración alta de ácido tánico y fosfórico, funciona mejor como convertidor de óxidos. (García et al., 2012) Al igual que el anterior artículo, este en específico aporta al proyecto de investigación alternativas ecológicas para

mitigar la aceleración de la corrosión de materiales hechos en acero 1010 expuestos a ambientes salinos.

### **5.1.3.3 Estudio del comportamiento de los recubrimientos anticorrosivos utilizados en estructuras metálicas de edificios de la región costa del ecuador.**

Esta tesis de grado fue realizada por los estudiantes Miguel Andrés Cajamarca Morquecho y Marco Fabricio Romero Vintimilla de la Universidad Politécnica Salesiana (Cuenca, Ecuador) para obtener el título de Ingeniero Mecánico en el año 2014; el cual, consiste en el estudio del comportamiento de los recubrimientos anticorrosivos utilizados en estructuras metálicas en la región costa del Ecuador.

La metodología usada fue mediante ensayos ya existentes, donde se someten las piezas en una cámara de niebla salina, que emula las condiciones de salinidad de la región costa y también tienen en cuenta las normas ASTM B117 y ASTM D610, las cuales indican como realizar este tipo de procedimiento. De lo anterior, obtuvieron resultados tales como, que los productos nacionales que mejor soportan la corrosión en ambientes salinos son: Pinturas Cóndor y Pinturas Unidas, por otra parte, en el análisis se evidencia que en cuanto a marcas internacionales las que mejores resultados brindaron fueron: Sherwin Williams y Hempel, sin importar su modo de aplicación (con brocha o aspersión de aire). (Cajamarca Morquecho & Romero Vintimilla, 2014)

#### **5.1.4 Resumen**

Teniendo en cuenta la investigación realizada, podemos resumir que el tema de este trabajo no ha sido tratado y analizado en otras investigaciones, por tal motivo, no se encontró información específica sobre el deterioro por corrosión de piezas de automotores que operan en

ambientes salinos (zonas costeras); sin embargo, la información referenciada y encontrada durante la indagación, nos ayuda a tener un conocimiento enfocado en diseños de planes de mantenimiento basados en RCM, el impacto de los ambientes salinos en estructuras metálicas causando la aceleración de la corrosión y algunas alternativas de recubrimiento para inhibirla. En este orden de ideas, este proyecto permitirá tener un enfoque metodológico basado en RCM para automotores expuestos a ambientes salinos, que aceleran la corrosión en sus piezas como lo son la suspensión, dirección, carrocería y frenos.

La tesis anterior aporta significativamente al proyecto de investigación, debido a que describe cuales son los recubrimientos que mitigan la aceleración de la corrosión en piezas expuestas a ambientes salinos, siendo esta una buena opción para pintar las piezas de los vehículos de la FAC.

## **5.2 Marco teórico**

El marco teórico que fundamenta esta investigación y la definición de temas relevantes como mantenimiento del vehículo, tipos de mantenimiento, mantenimiento programado, funciones, misión y operación tipo de la FAC, definición del acuerdo al uso de los vehículos de la Institución, corrosión y corrosión filiforme se definen a continuación:

### **5.2.1 *Mantenimiento***

El mantenimiento se define como la acción encaminada para conservar un bien y evitar su desgaste prematuro, por lo anterior, el mantenimiento del vehículo según (Ferrer & Checa, 2010) lo definen como *“las acciones que tienen por objeto mantener un vehículo o restaurarlo a un estado normal de funcionamiento, permitiendo que la vida útil del vehículo se prolongue y*

se disminuya el riesgo de averías. Los autores, definieron básicamente tres tipos o métodos de mantenimiento. *Mantenimiento correctivo: Consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. Mantenimiento preventivo: Consiste en seguir las instrucciones del fabricante, que se detallan en el manual del vehículo por tipo de servicio. Mantenimiento predictivo: Consiste en realizar diagnósticos o mediciones que permiten predecir si es necesario realizar correcciones o ajuste antes de que ocurra una avería*” (Ferrer & Checa, 2010), Así mismo en un artículo para la página web <http://www.mantenimientopetroquimica.com/> escrita por el Director Técnico de RENOVETEC Santiago Garrido especifica los mismos tipos de mantenimiento y los define de la siguiente manera. *“Mantenimiento Correctivo: Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos. Mantenimiento Preventivo: Es el que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Mantenimiento Predictivo: Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.). Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos”*. (García et al., 2012)

### **5.2.2 Método AMEF**

El método AMEF es la forma de identificar errores y sus efectos de falla para poder priorizar y concentrarse en la forma de prevenir, supervisar y buscar la solución del problema,

según (Hidalgo, 2005) el AMEF “es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son: Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto, determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema, identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial, analizar la confiabilidad del Sistema, documentar el proceso”. (Hidalgo, 2005)

### **5.2.3 Funciones - misiones y operaciones tipo de la Fuerza Aérea Colombiana**

La Fuerza Aérea Colombiana como toda organización del Estado se le confieren funciones, misiones y operaciones de acuerdo con la especialidad por la cual fue creada, “*así mismo que se pueda integrar con las demás fuerzas del Estado Colombiano y que puedan operar como una sola arma aplicando los principios de: Unidad de esfuerzo, sincronización, sinergia y flexibilidad.*

*La Fuerza Aérea Colombiana cumple con funciones fundamentales como son: controlar el aire, el espacio y el ciberespacio, multiplicar la fuerza, apoyar la fuerza y contribuir a los fines del estado y participar en programas de cooperación. (CFEPPC). (Funciones - Misiones y Operaciones Tipo, 2020).*

### **5.2.4 Definición de acuerdo con el uso**

Los vehículos en la Fuerza Aérea Colombia se pueden clasificar según su uso, según lo estipula el Manual de Transporte Terrestre (MATTE) 4ta Edición 2017 (MATTE 2da edición de la Fuerza Aérea).

*a. Vehículos para uso general. Son aquellos que se encuentran diseñados y destinados para transporte de personal o carga.*

*b. Vehículos para uso especial y maquinaria pesada. Son los vehículos especialmente diseñados y empleados en trabajos especiales: tractocamiones, tractores, bulldozer, cargadores, grúas, entre otros.*

*c. Vehículos tácticos. Todos aquellos vehículos de las Fuerzas Militares que hubiesen sido destinados para operaciones tácticas de combate cuyas características esenciales son pintura camuflada o verde mate, luces tácticas, suspensiones especiales para terrenos destapados y tracción en todas las ruedas.*

*d. Vehículos de asistencia médica. Unidad móvil de asistencia médica autorizada para transitar a velocidades mayores que las normales y acondicionada de manera especial para el transporte de pacientes críticos o limitados.*

*e. Vehículos en provisionalidad. Los que sin ser de propiedad de la Fuerza Aérea Colombiana se encuentran destinados provisionalmente por la Sociedad de Activos Especiales SAS “SAE” o en comodato por autoridad competente y prestan algún servicio o apoyo logístico en las unidades militares aéreas.*

*f. Vehículos de extinción de incendios. Es un vehículo empleado por los bomberos diseñado para la lucha contra el fuego. Suele tener como principal misión la de transportar los utensilios necesarios para actuar en una emergencia por incendio principalmente”. (Fuerza Aérea Colombiana, 2017).*

### **5.2.5 Preámbulo a la corrosión**

*“En los estudios clásicos la corrosión se define, en sentido estricto, como la destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por la acción de agentes externos de tipo electroquímico, persista o no su forma. Sin embargo, es un fenómeno mucho más amplio. Con un criterio más generalista, la podemos definir como la degradación (transformación de una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla) de un material por su medio ambiente, produciendo pérdidas en sus propiedades mecánicas de resistencia, lo que da lugar a cambios en la geometría de las estructuras y componentes haciéndoles perder la función para la cual estaban determinadas.*

*Lo importante es conocer el comportamiento de los materiales frente a los agentes externos, entre los que evidentemente se encuentra el medio ambiente y las interacciones con los otros materiales que le rodean. (Jiménez, 2015), partiendo de esta definición se lograron evidenciar muchos casos de corrosión pero Räu chle, F., & Tang, I. D. en 1988 lograron definir “un caso especial de la corrosión atmosférica (normalmente uniforme) es la corrosión filiforme, esta forma de corrosión siempre aparece sobre metales recubiertos con sustancias orgánicas (lacas, barnices) y la razón de este ataque es la presencia de restos de sales que provienen del proceso de decapado previo del metal o de impurezas salinas del baño de enjuague posterior. Esta corrosión muestra la morfología de "hilos" de ahí el nombre, filiforme - sin cruzarse.*

La concentración de las sales de Fe (II) en la punta, hace que, por su carácter higroscópico, sea la parte más voluminosa y que se establezca una pila de aireación diferencial con un déficit relativo de  $O_2$  en la punta, comportándose como ánodo. Toda la cola constituye el cátodo. En la cabeza de la punta se encontró, asombrosamente, una cierta concentración de OH suficiente para hacer levantar la película orgánica (Fig. 4). Normalmente las pinturas, lacas y barnices son sensibles a valores de pH mayores”.

### Imagen 8

#### Efecto de Concentración de $OH^-$ en la Punta de un Hilo en la Corrosión filiforme

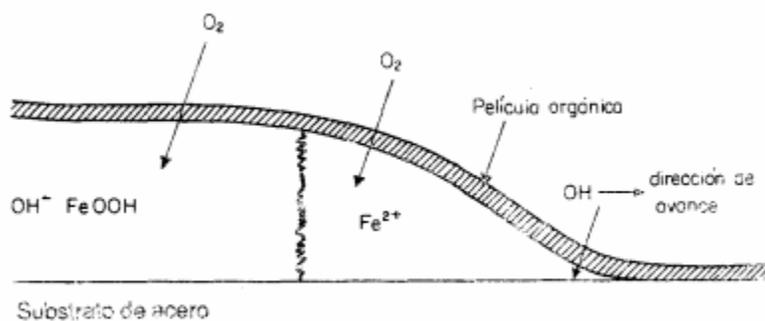


Fig. 4 Efecto de concentración de  $OH^-$  en la punta de un hilo en la corrosión filiforme.

Nota: Tomada de (Räuchle & Tang, 1988)

#### 5.2.6 La corrosión en elementos ferrosos

“La corrosión, en términos generales, es la destrucción o deterioro de un material a causa de su combinación o reacción con el medio ambiente. En este sentido, puede hablarse de corrosión no solo en los metales, sino también en los cementos, plásticos, materiales cerámicos, etc. La corrosión metálica se puede clasificar de diversos modos obedeciendo a criterios muy

*variados: en función del medio en contacto con la superficie metálica (corrosión atmosférica, corrosión por agua de mar, corrosión de metales enterrados...), en función de la morfología de ataque (corrosión uniforme o generalizada, corrosión por picaduras...), etc. (1). En esencia, cabe distinguir dos procesos de corrosión marcadamente distintos, tanto en lo que concierne a los mecanismos de ataque como a las condiciones experimentales en que se desarrollan.* (Morcillo Linares & Chico González, 2018) Por lo tanto, Manuel Morcillo Linares y Belén Chico Gonzáles, los agrupan de la siguiente forma:

- a) ***Corrosión a alta temperatura***
- b) ***Corrosión electroquímica***
- c) ***Corrosión metálica húmeda***

*En la **corrosión a alta temperatura**, corrosión seca, corrosión por gases calientes u oxidación directa, como también se la define, el metal reacciona directamente con el agente agresivo ( $O_2$ ,  $SO_2$ , etc.), afectando el ataque de manera similar a toda la superficie metálica.*

*En cambio, la **corrosión electroquímica**, que recibe también la denominación de corrosión acuosa o húmeda, se produce cuando el metal se halla en contacto con electrolitos (agua, soluciones salinas, ácidos, bases, etc.). En este caso, el ataque ocurre solamente en las zonas anódicas del metal y no afecta por igual a toda la superficie.*

*Además, la **corrosión metálica húmeda**, que es la que se presenta con mayor frecuencia, el fenómeno corrosivo resulta del funcionamiento de pilas electroquímicas microscópicas que se constituyen entre diversas partes no idénticas de un metal, lo que implica la existencia de un proceso redox, siendo, por tanto, la superficie metálica sede de dos reacciones de electrodo: la reacción anódica de oxidación (disolución metálica) y la reacción catódica de reducción.”* (Morcillo Linares & Chico González, 2018)

### 5.3 Marco legal

La tabla 3 presenta los referentes normativos a tener en cuenta durante el desarrollo de la presente investigación, relacionados con las temáticas tratadas.

**Tabla 3**

**Norma, Ley o Procedimiento**

<b>Ley / Norma</b>	<b>Artículo / Numeral</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Ley 1383 de 2010.</b>	“Por la cual se reforma la ley 769 de 2002 código nacional de tránsito, y se dictan otras disposiciones”.	Artículo 28 "condiciones técnico-mecánicas, de emisiones contaminantes y de operación"
<b>Resolución 12379 del 28 de diciembre de 2012 "Ministerio de Transporte"</b>	"Por la cual se adaptan los procedimientos y se establecen los requisitos para adelantar los trámites ante los organismos de tránsito"	Capitulo v cancelación de la matrícula de un vehículo artículo 16 procedimiento y requisitos numeral 6 si la solicitud de cancelación de matrícula es originada en la decisión voluntaria del propietario de desintegrar el vehículo"
<b>GA-JELOG-MN-008</b>	Manual fac-4.4.4-o público 2018 - manual de transporte terrestre (MATTE)	Capítulo 3.7 procedimiento para dar de baja vehículos de propiedad del ministerio de defensa -fuerza aérea colombiana
<b>GA-JELOG-MN-008</b>	Manual fac-4.4.4-o público 2018 - manual de transporte terrestre (MATTE)	Capítulo 5 Mantenimiento e inspecciones al equipo automotor
<b>GA-JELOG-PR-030</b>		Procedimiento formulación aprobación ejecución y seguimiento del plan de mantenimiento menor
<b>GA-JELOG-INS-031</b>		Instructivo para emitir concepto técnico vida útil vehículos
<b>NORMA: ISO 14224 (2016)</b>		Industrias de petróleo y gas natural - recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos

**Nota: Información tomada de las leyes y normas vigentes.**

## 6 Marco metodológico

La metodología por desarrollar en este proyecto es mediante el análisis de las actividades de los planes de mantenimiento actuales de la FAC y visitas a las instalaciones donde se ejecutan las mismas, con el fin, de realizar una observación directa al procedimiento que llevan a cabo diariamente; seguido a esto, realizar una propuesta de mejora de las actividades del plan de mantenimiento para mitigar el desgaste prematuro en los vehículos de la FAC.

## **6.1 Recolección de la información**

### ***6.1.1 Tipo de investigación***

Para el desarrollo del proyecto se utilizará la investigación cuantitativa mediante el método descriptivo, debido a que se busca especificar las actividades y características del plan de mantenimiento indicado, para prevenir el desgaste prematuro del parque automotor.

## Imagen 9

### *Tipos de investigación*

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
• Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
• Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
• Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
• Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
• Explicativa	Da razones del porqué de los fenómenos.
• Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
• Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
• Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
• Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

**Nota:** La vicerrectoría de investigación de la Universidad ECCI establece los tipos de investigación a desarrollar mediante la tabla de tipos de investigación que hace parte de la guía metodológica para trabajos de investigación del área de Posgrados (Dirección de Posgrados, Universidad ECCI, 2018)

Así mismo, la investigación es cuantitativa ya que es necesario analizar los datos de las encuestas que se aplicarán al personal que ejecuta las actividades de mantenimiento actual.

#### **6.1.2 Fuentes de obtención de la información**

En este proyecto se consultarán diferentes fuentes primarias y secundarias, las cuales se describen a continuación.

### **6.1.2.1 Fuentes de información primaria.**

Las fuentes de información primarias utilizadas para este proyecto son: herramienta SAP-ERP, manuales de servicio de los automotores de las Escuadrillas de transporte terrestre de GACAR (San Andrés Islas) y CACOM 3. (Malambo, Atlántico)

### **6.1.2.2 Fuentes de información secundarias.**

En cuanto a las fuentes de información secundarias usadas en esta investigación tenemos: libros de mantenimiento, artículos científicos e investigaciones respecto a la reducción de la aceleración de la corrosión.

### **6.1.3 Herramientas**

Las herramientas por implementar para el desarrollo de este proyecto de investigación son:

- Recolección de planes de mantenimiento / SAP / ERP
- Trazabilidad de mantenimientos / SAP ERP
- Encuestas a los técnicos especialistas de transporte

Tipología de Vehículos más afectados

Componentes más afectados

Que mantenimiento se está realizando para mitigar la corrosión

Con que periodicidad se está realizando dicho mantenimiento

Costos

- Visita a campo donde se tomaría un muestreo del estado de corrosión de 5 vehículos.

### **6.1.4 Metodología**

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto se utilizarán las siguientes metodologías:

#### **6.1.4.1 Taxonomía y rango de criticidad.**

De acuerdo con la base de información general de los vehículos, se realizará una clasificación en 6 tipologías (Motocicleta, Automóvil, Camioneta, Camión, Bus, Carrotanque) adicional, se clasificará los vehículos por el grado de exposición, calificándolos de 1 a 5, donde 1 es el menos expuesto y 5 el más expuesto a ambientes salinos.

#### **6.1.4.2 Métodos anticorrosivos.**

Consultar con expertos en pintura y carrocería, métodos de impermeabilización para vehículos expuestos a ambientes salinos, así mismo, investigar diferentes materias primas que satisfagan la prevención y mitigación de la aceleración de la corrosión.

#### **6.1.4.3 Matriz AMEF.**

Implementar la metodología AMEF para identificar las partes más afectadas y su rango de criticidad, para así, plantear una actividad adicional a los planes de mantenimiento existentes, enfocada a la impermeabilización del parque automotor.

### ***6.1.5 Información recopilada***

#### **6.1.5.1 Planes de mantenimiento.**

A continuación, se presenta información obtenida del sistema de información acerca de los planes de mantenimiento e intervenciones desarrolladas en los automotores relacionados con la investigación.

## Imagen 10

### Planes de Mantenimiento por Marca y Línea (SAP-ERP)

Ubicación técnica	FAC	Válido de	20.09.2020
Denominación	FUERZA AÉREA COLOMBIANA		
> FAC-CACO7	COMANDO AEREO DE COMBATE No. 7		
> FAC-CAMAN	COMANDO AEREO DE MANTENIMIENTO		
> FAC-CATAM	COMANDO AEREO TRANSPORTE AEREO MILITAR		
> FAC-EMAVI	ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN		
∨ FAC-GACAR	GRUPO AEREO DEL CARIBE		
• FAC-GACAR-C90	EQUIPO C-90		
> FAC-GACAR-ESAA	ESCUADRILLA ARMAMENTO AEREO GACAR		
> FAC-GACAR-ETAA	EQUIPO ETAA GACAR		
∨ FAC-GACAR-TRAN	ESCUADRILLA TRANSPORTE TERRESTRE GACAR		
> GACAR-APOYO	Vehiculos de Apoyo		
> GACAR-AUTO	Vehiculos Automoviles		
> GACAR-BAJA	Vehiculos de Baja		
> GACAR-BUS	Vehiculos Buses		
> GACAR-CAMION	Vehiculos Camiones		
∨ GACAR-CAMIONET	Vehiculos Camionetas		
• 90022213	CAMIONETA CHEVROLET DMAX 3.0 ABS218	0101	
• 90022218	CAMIONETA MAZDA BT50 PICKUP 4X4 DIW998	0101	
• 90022219	CAMIONETA CHEVROLET DMAX 2.5 EAM059	0101	
• 90022220	CAMIONETA CHEVROLET DMAX 2.5 EAO037	0101	
• 90022223	CAMIONETA VOLKSWAGEN TRANSPORTER EAM092	0101	
• 90025518	CAMIONETA NISSAN FRONTIER NP300 XWP026	0101	
• 90025519	CAMIONETA CHEVROLET DMAX 2.5 YZU046	0101	
• 90025520	CAMIONETA CHEVROLET DMAX 2.5 OZG284	0101	
> GACAR-MOTO	Vehiculos Motocicletas		
> FAC-GAORI	GRUPO AEREO DEL ORIENTE		

**Nota:** Los planes de mantenimiento están estructurados de acuerdo a las recomendaciones del

fabricante, por ende, están parametrizados en SAP-ERP por marca y línea. Tomada (FAC, 2020).

La taxonomía existente en el sistema SAP presenta los vehículos tenidos en cuenta y el lugar de asignación de los mismos.

## Imagen 11

### Hoja de Vida Vehículo

The screenshot displays a software interface for managing vehicle equipment. The main window is titled 'Visualizar equipo : Datos generales'. The interface includes a menu bar at the top with options like 'Equipo', 'Tratar', 'Pasara', 'Detalles', 'Estructuración', 'Entorno', 'Sistema', and 'Ayuda'. Below the menu is a toolbar with various icons for navigation and actions. The main content area is divided into several sections:

- Header Information:**
  - Equipo: 90022219
  - Tipo: Vehículos
  - Denominación: CAMIONETA CHEVROLET DMAX 2.5 EAM059
  - Status: MONT
  - VLI: VTLI
  - Válido de: 01.09.2016
  - Fin de validez: 31.12.9999
- General Section:**
  - Clase: VEHICULOS
  - Cl.vehículo: VE\_CAMIETA
  - Peso: 2.950,000 KG
  - Tamaño/Dimens.: 1,8MX1,8MX5,3M
  - Nº inventario: 800405000000000000464194
  - PstaEnServDesde: 11.06.2015
- Datos de aprovisionamiento:**
  - Valor adquis.: 80.788.600,00 COP
  - Fecha adquis.: 22.12.2014
- Datos de fabricación:**
  - Fabricante: CHEVROLET
  - País productor: CO
  - Línea: CAMIONETA CHEVROLET
  - Año/Mes const.: 2014 / 01
  - NºPieza fabric.: CHEVROLET DMAX 2.5L DSL 4X4
  - Fabr. Nº-serie: 8LBETF3W3F0290341
- Garantía de cliente:**
  - Inicio de Grant: [Empty field]
  - Fin de garantía: [Empty field]
  - Garantía tipo: [Empty field]
  - Heredar garant.
  - HerencGarantía

**Nota:** Hoja de vida camioneta Chevrolet Dmax 2.5 EAM059. En la hoja de vida, se puede ver toda la información general del vehículo. Tomada de (FAC, 2020)

La hoja de vida presenta la información general del equipo así como las intervenciones desarrolladas es básica dentro de los procesos de trazabilidad para el ciclo de vida del activo.

## Imagen 12

### Rutinas de Mantenimiento

Plan de mantenimiento preventivo | Tratar | Pasar a | Detalles | Entorno | Sistema | Ayuda

Visualizar plan de mantenimiento preventivo: Plan estrategia 000004077

Plan mant.prev. 4077487 MTTO X KM DMAX 2.5 4X4 EAM-059

Cab.plan mant.

Ciclos plan de mantenimiento 20.09.2020 | Parám.programación plan mantenimiento | Datos adicionales ...

Contador 313988 | KILOMETRAJE DMAX 2.5 4X4 EAM-059

Ciclo	Unidad	Texto ciclo mantenimiento	Offset
5000	KM	CINCO MIL KILOMETROS	0
10000	KM	DIEZ MIL KILOMETROS	0
50000	KM	CINCUENTA MIL KILOMETROS	0

Posición | Lista objeto posición | Emplazamiento posición | Llamadas programadas posición | Llamad...

Posición PM 371020 | MTTO X KM DMAX 2.5 4X4 EAM-059

Objeto de referencia

Ubic.técn.	GACAR-CAMIONET	Vehiculos Camionetas
Equipo	90022219	CAMIONETA CHEVROLET DMAX 2.5 EAM059

Datos de planificación

Centro planif.	F013	Grupo Aéreo del Caribe	Grupo planif.	201	Vehículos
Clase de orden	ZV01	Orden Mantto Progr. Vehículos...	Clase actividad PM	Z36	Servicio Programado ...

SAP

**Nota: Rutinas de mantenimiento Chevrolet Dmax 2.5 EAM059. Tomada de (FAC, 2020)**

El software de la organización presenta las rutinas de mantewnimineto a seguir teniendo en cuenta la información suministrada y cargada por el área de mantenimiento.

### Imagen 13

#### Actividades de Mantenimiento

Op.	SOP	FctoTjpo	Ce.	Ctfl	Descripción operación	T. Trabajo	Un.	Nº	Dur.	Un.	C. %	Dist	Trib	Fac	ClAct	HS	Apt.	E Ctd.pedido	U...	Precio neto	Mon.	por	PtE
0010		TALLITRAN	F013	ZM01	INICIO INSPECCION DE 5000 KM	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020		TALLITRAN	F013	ZM01	CAMBIO ACEITE	0,9	H	1	0,9	H	2	100	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020	0010	TALLITRAN	F013	ZM01	REMOVER TAPON Y DRENAR ACEITE MO...	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020	0020	TALLITRAN	F013	ZM01	REMOVER FILTROS	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020	0030	TALLITRAN	F013	ZM01	CERRAR TAPON CARTER	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020	0040	TALLITRAN	F013	ZM01	INSTALAR FILTROS	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020	0050	TALLITRAN	F013	ZM01	ADICIONAR ACEITE AL MOTOR	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020	0070	TALLITRAN	F013	ZM01	VERIFICAR NIVEL ACEITE VEHICULO APA...	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0020	0080	TALLITRAN	F013	ZM01	REVISION NIVELES GENERAL	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0030		TALLITRAN	F013	ZM01	REVISION FRENSOS SUSPENSION Y LUBRI...	0,5	H	1	0,5	H	2	100	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0030	0010	TALLITRAN	F013	ZM01	TENSIONAR FRENSOS Y EMERGENCIA	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0030	0020	TALLITRAN	F013	ZM01	AJUSTE DE SUSPENSION	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0030	0030	TALLITRAN	F013	ZM01	ENGRASE GENERAL	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0030	0040	TALLITRAN	F013	ZM01	LUBRICAR PUERTAS	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0040		TALLITRAN	F013	ZM01	REVISION SISTEMA ELECTRICO	0,2	H	1	0,2	H	2	100	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0040	0010	TALLITRAN	F013	ZM01	REVISION LUCES INTERNAS Y EXTERNAS	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0040	0020	TALLITRAN	F013	ZM01	REVISION NIVELES ELECTROLITO DE BA...	0	H	0	0	H	2	0	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	
0050		TALLITRAN	F013	ZM01	LIMPIEZA VEHICULO Y VERIFICACION	0,8	H	1	0,8	H	2	100	1	0				0,000	0,00	COP	0	0	

**Nota: Actividades detalladas de mantenimiento Chevrolet Dmax 2.5 EAM059. Tomada de (FAC, 2020)**

Se evidencia que, en los planes de mantenimiento con los que cuenta la FAC, no existen actividades enfocadas a la prevención y mitigación de la aceleración de la corrosión. Asimismo, a pesar de que existen rutinas de lavado y engrase general, estas no se realizan con una frecuencia oportuna sino cada 5000 kilómetros, frecuencia que resulta insuficiente para mitigar y prevenir la aceleración de la corrosión.

#### 6.1.5.2 Encuestas.

Se aplicó una encuesta a los 3 técnicos especialistas de transporte, quienes son los encargados de liderar el mantenimiento de las tres bases ubicadas en Malambo – Atlántico y San Andrés Islas, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 4****Encuesta Grado de Afectación por Tipología**

Ítem	Pregunta	CACOM-3	CACOM-3	GACAR
1	Califique el grado de corrosión que afecta al vehículo tipo CAMIONETA, por estar expuesto a una zona de alta salinidad.	3	4	5
2	Califique el grado de corrosión que afecta al vehículo tipo AUTOMÓVIL, por estar expuesto a una zona de alta salinidad.	3	3	5
3	Califique el grado de corrosión que afecta al vehículo tipo BUS, por estar expuesto a una zona de alta salinidad.	5	4	5
4	Califique el grado de corrosión que afecta al vehículo tipo CAMIÓN, por estar expuesto a una zona de alta salinidad.	5	4	5
5	Califique el grado de corrosión que afecta al vehículo tipo CARROTANQUE, por estar expuesto a una zona de alta salinidad.	5	4	5
6	Califique el grado de corrosión que afecta al vehículo tipo MOTOCICLETA, por estar expuesto a una zona de alta salinidad.	3	4	4
7	¿Cuáles son los componentes más afectados por la corrosión en los vehículos de su Unidad?	Chasis y carrocerías	Chasis, tijeras	Chasis, carrocería, defensa delantera y trasera por último rines
8	¿La Unidad está realizando mantenimiento para mitigar la corrosión en los vehículos?	NO	NO	NO
9	Describa el mantenimiento que se está realizando.	N/A	N/A	N/A
10	¿Qué frecuencia se utiliza para dicho mantenimiento?	N/A	N/A	N/A
11	¿Cuál es la periodicidad de dicho mantenimiento?	N/A	N/A	N/A
12	¿Cuánto es el presupuesto invertido para mitigar la corrosión en los vehículos?	N/A	N/A	N/A

**Nota:** La encuesta se realizó mediante la herramienta tecnológica Forms. La calificación numérica se parametrizó de 1 a 5, siendo 1 el más bajo y 5 el más alto.

### 6.1.5.3 Visita a campo

Se realizó una visita a la base CACOM-3 en Malambo – Atlántico el día 30 de septiembre de 2020, donde se hizo una inspección visual a algunos vehículos, encontrándolos en el siguiente estado:

#### *Imagen 14*

#### *Registro Fotográfico Visita*





**Nota:** La inspección visual se realiza a las partes afectadas de una motocicleta, un camión y una camioneta.

## **6.2 Análisis de la información**

### **6.2.1 Análisis encuestas.**

La encuesta realizada en las escuadrillas CACOM-3 y GACAR arroja que los vehículos con mayor grado de corrosión actualmente son: carrotaques, camiones y buses con un promedio de calificación de 4,67 puntos; seguido de camionetas con 4 puntos y, motocicletas y automóviles con 3,67 puntos. En cuanto a los sistemas más afectados están chasis y carrocería.

### **6.2.2 Taxonomía**

La FAC cuenta con la herramienta tecnológica SAP-ERP, en la cual, se encuentra toda la información referente al mantenimiento de los vehículos; sin embargo, al realizar una descarga de la información general, se encontró que no existe una clasificación adecuada por tipología (existiendo 11 tipologías) lo que no permite delimitar ni centralizar focos de demanda y tampoco se evidencia el grado de exposición a ambientes salinos como se muestra en la imagen 15.



## Imagen 16

### Tipologías Propuestas para Parametrizar en SAP-ERP

ORDEN	NUMERACION POR UNIDAD	UNIDAD LOGISTICA	CLASE DE VEHICULO	MARCA	LINEA
76	1064			POLARIS	RANGER CREW
77	1065			SUZUKI	DR 200
78	1066			SUZUKI	DR 200
79	1067			YAMAHA	XTZ-250
80	1068			YAMAHA	XTZ 250
81	1069			YAMAHA	XTZ 125
82	1070			YAMAHA	YW125X

**Nota:** Se redujo al 60% la cantidad de tipologías existentes, con el fin de determinar el foco de demanda de las fallas por corrosión.

Así mismo, se clasificó según la tipología propuesta y el criterio de los técnicos especialistas encargados de liderar el mantenimiento de las tres bases ubicadas en Malambo – Atlántico y San Andrés Islas, los grados de exposición de los vehículos.

**Tabla 5**

### Grado de Exposición

Tipo Vehículo	Grado de exposición
Camioneta	5
Motocicleta	5
Automóvil	4
Camión	4
Bus	3

---

Carrotanque	2
-------------	---

---

**Nota: Los vehículos que mayor grado de exposición tienen a ambientes salinos son las camionetas y las motocicletas, seguido de los automóviles y camiones. La calificación numérica se parametrizó de 1 a 5, siendo 1 el más bajo y 5 el más alto.**

### 6.2.3 Matriz AMEF

Tabla 6

Matriz AMEF

TAXONOMÍA			MODOS Y EFECTOS						RIESGO			
SISTEMA	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	CAUSA DE FALLA	MÉTODO DE DETECCIÓN	DETECTABILIDAD	OCURRENCIA	SEVERIDAD	NPR
Suspensión (S)	Amortiguadores (AMO)	Cilindros (A)	Reducir el número de vibraciones, ocasionados por condiciones externas.	El vehículo se comporta de manera rígida, hasta tal punto de ruptura de componentes.	Componentes oxidados	Ruptura de componentes y Oxidación de componentes	Inspección visual	1	6	7	42	
	Muelles (MUE)	Ballestas (C) Grapas (D)										
	Barra estabilizadora (BAR)	Soportes (E)										
	Tijeras (TIJ)	Rótulas (G)										
	Volante (VOL)	Tornillos de sujeción (M)										
Dirección (D)	Columna de dirección (COL)	Crucetas (N) Ejes (O)	Permitir al conductor dirigir el vehículo.	No le permite al conductor dirigir el vehículo.	Componentes oxidados	Pérdida del control del vehículo	Oxidación de componentes	Inspección visual	1	6	7	42
	Bomba de dirección (BOD)	Polea (P) Piñones (Q)										
	Caja de dirección (CDI)	Piñón cremallera (R) Brazo pitman (T)										
Chasis (CH)	Chasis (CH)	Chasis (CH)	Dar sostén, rigidez y forma al vehículo.	Fisuras y ruptura del componente	Componentes oxidados	Vehículo inoperativo	Oxidación de componentes	Inspección visual	1	9	7	63
Carrocería (C)	Soportes de carrocería (SDC)	Tornillos de sujeción (M)	Permitir la protección y la cubierta a los componentes del vehículo	Desajuste en la carrocería y ruptura de piezas.	Componentes oxidados	Desprendimiento de piezas.	Oxidación de componentes	Inspección visual	1	9	4	36
	Puertas (PUE)	Bisagras (AH) Pasadores (AI)										
	Capó (CAP)	Chapa (AJ) Chapa (AJ) Bisagras (AH)										

**Nota:** Se puede evidenciar que el sistema de mayor afectación es el chasis con un NPR de 63, seguido de los sistemas de suspensión y dirección con NPR de 42; por otro lado, a pesar de que la carrocería no obtuvo un NPR alto, la ocurrencia de la falla si es significativa, sin embargo, su severidad es baja, por tal motivo el resultado del NPR.

#### 6.2.4 Desarrollo matriz DOFA

**Tabla 7**

**Matriz DOFA**

	Fortalezas	Debilidades
Matriz DOFA	<p>La Fuerza Aérea Colombiana posee una herramienta ERP excelente como es el SAP, lo que hace que una buena programación de mantenimiento sea indispensable para controlar la frecuencia y actividades para prevenir la corrosión.</p> <p>Estas unidades cuentan con el personal de mecánicos calificados en el área automotriz, con una experiencia superior a 10 años con la Institución, lo cual genera un compromiso adicional, pues el sentido de pertenencia hacia la Fuerza Aérea es muy grande, lo que ayuda a que dicho personal realice las actividades con mayor ahínco.</p>	<p>A pesar de que se tiene una excelente herramienta como es el SAP, la falta de experiencia y personal capacitado para administrar esta, hace que el control sobre las frecuencias de mantenimiento se vea reducida y afecte en el proceso de prevenir la corrosión en los automotores.</p> <p>Teniendo en cuenta que cada unidad tiene un presupuesto asignado para llevar a cabo la contratación de servicio o compraventa, este dinero asignado puede ser reducido para cubrir las necesidades de mantenimiento a implementar.</p>
Oportunidades	Estrategia FO	Estrategia DO
<p>Dentro de las condiciones técnicas al elaborar un contrato, se puede incluir experiencia en este tipo de mantenimientos, para que la empresa contratante este en toda la capacidad de realizar un mantenimiento de calidad, en pro de prevenir la corrosión en los vehículos.</p> <p>Teniendo en cuenta el mercado, se debe realizar un análisis económico para realizar la comparación entre contratar el servicio a todo costo y la adquisición de productos y</p>	<p>Realizar las actividades necesarias para prevenir la corrosión, para programarla en la herramienta tecnológica SAP, bien sea para ser desarrollada por personal al interior de la Fuerza o con empresa externa.</p> <p>Capacitar al personal del área automotriz, en las diferentes técnicas de aplicación y productos necesarios para prevenir la corrosión.</p>	<p>Se realizará un estudio de mercado pormenorizado, donde se podrá determinar el presupuesto necesario para cumplir con las actividades y productos necesarios para llegar al objetivo de prevenir la corrosión.</p> <p>Realizar la incorporación de personal idóneo para controlar las actividades de mantenimiento a través de la herramienta SAP.</p>

capacitación del personal de mecánicos para realizar este tipo de mantenimientos.

Amenazas	Estrategia FA	Estrategia DA
Por ser entidad del Estado, la contratación debe ser por la plataforma Colombia Compra Eficiente, lo que hace que muchas empresas del sector automotriz puedan presentarse a la convocatoria de contratación y puede llegar a ocurrir que una empresa de baja calidad se gane el contrato.	Realizar la contratación por adquisición de los productos para ser aplicados por el personal al interior de la Institución en la Isla de San Andrés.	Solicitar presupuesto exclusivamente para desarrollar las actividades de mantenimiento para prevenir la corrosión,
Para la Unidad de GACAR “Grupo Aéreo del Caribe” ubicado en la Isla de San Andrés, son reducidas las empresas que prestan servicio de mantenimiento de calidad.	Realizar la contratación por servicio a todo costo en Malambo Atlántico, teniendo en cuenta dentro de las condiciones técnicas exigida, experiencia en mantenimientos para prevenir la corrosión y exigir productos de buena calidad.	
Debido a la pandemia por el Covid-19, los costos de importación de productos utilizados para prevenir la corrosión se han incrementado.		

### 6.3 Propuesta de solución

Realizar una mejora del plan de mantenimiento actual enfocada al aumento de la vida útil del parque automotor, minimizando la aceleración de la corrosión de las piezas de mayor afectación por la exposición a ambientes salinos.

Para ello se propone incluir una actividad específica de mantenimiento, enfocada a la mitigación y prevención de la aceleración de la corrosión de las diferentes partes que tienen mayor tendencia a oxidarse, como lo son el chasis y la carrocería, utilizando un método de

impermeabilización por recubrimiento no metálico y aplicándolo a las partes afectadas de los 82 vehículos que componen el parque automotor.

#### **6.3.1.1 Método anticorrosivo.**

El método anticorrosivo que se encontró más viable para este proyecto fue por recubrimiento no metálico, que consiste en crear una capa superficial o barrera que aisle el metal del entorno que causa la corrosión; dentro de los recubrimientos no metálicos, se propone emplear el siguiente, además, de unos agentes de limpieza y mantenibilidad previos a la aplicación de este:

##### ***6.3.1.1.1 Pasivador de oxido (gel eliminador de oxido) Pintuco.***

*“Es un acondicionador de superficies que sirve para transformar el óxido de hierro que es difícil de suprimir manualmente con papeles de lija, cepillos de alambre, rasquetas o martillos, o mecánicamente con cepillos eléctricos giratorios, para limpieza tipo mecánico”.* (Pintuco, s.f.)

##### ***6.3.1.1.2 Wash Primer Algreco.***

*“Acondicionador de superficies metálicas en dos componentes, en envases separados: el componente A, un producto con cromato de zinc y el componente B, una solución ácida. La mezcla apropiada de los dos componentes produce al aplicarse, una capa donde se adhieren bien las bases anticorrosivas.”* (Pinturas Algreco, s.f.)

##### ***6.3.1.1.3 Pintura anticorrosiva industrial Algreco***

*“Es una pintura formulada con pigmentos y un vehículo apropiado, que al ser usada como base de un sistema de pintura, actúa como protector de los efectos de la corrosión, en el*

*acero, hierro y otros metales.*

*El anticorrosivo Industrial es fabricado a base de resina alquídica de óptima calidad y de secamiento al aire. Proporciona un mayor rendimiento del Esmalte Rápido y Esmaltín por que actúa como base, además, tiene una amplia gama de colores". (Pinturas Algreco, s.f.)*

### **6.3.1.2 Proceso de implementación de impermeabilización**

#### **Imagen 17**

#### **Actividades para la ejecución de la impermeabilización**



**Nota:** Con base en la información de las encuestas realizadas, se identificó que las partes que tienen mayor afectación son el chasis y la carrocería de los vehículos; para este caso el mejor método anticorrosivo a implementar es por medio de un recubrimiento no metálico (pintura anticorrosiva) y para aumentar su durabilidad se deben implementar actividades de limpieza periódicas.

#### **6.3.1.2.1 Actividad de mantenimiento (impermeabilización)**

De acuerdo con los resultados arrojados por la matriz AMEF, se estableció una rutina de mantenimiento específica para minimizar la aceleración de la corrosión a causa de la exposición de los vehículos en ambientes salinos, por ende, se diseñó una serie de actividades basadas en el método anticorrosivo por recubrimiento no metálico, para impermeabilizar las partes afectadas.

**Tabla 8****Actividades de Impermeabilización de Partes**

<b>Ítem</b>	<b>Especialidad técnica</b>	<b>Descripción de la actividad</b>
1	Carrocero	Lavar periódicamente las camionetas (preferiblemente cada 8 días). Engrasar partes móviles
2	Carrocero	Visualizar y evaluar el grado de corrosión presente en el automotor
3	Carrocero	En caso de presentar piezas afectadas por la corrosión, programar la ejecución inmediata de los ítems 4, 5, 6, 7 y 8.
4	Carrocero	Para las piezas afectadas por corrosión asearlas con grata de copa
5	Carrocero	Una vez aseadas las piezas afectadas, aplicarles pasivador de óxido (gel eliminador de óxido)
6	Carrocero	Limpiar de nuevo las piezas y aplicar base "Wash Primer" (preferiblemente Pintuco o Algrecó). Tiempo de secado al tacto de 10-15 minutos.
7	Carrocero	Impermeabilizar con pintura anticorrosiva (preferiblemente Algrecó). Tiempo de secado de 6-8 horas.
8	Carrocero	Aplicar pintura epóxica de preferencia
9	Carrocero	Nota: en caso de no presentar piezas afectadas por la corrosión, no llevar a cabo los ítems 4, 5, 6, 7 y 8.

**Nota:** Cabe resaltar que estas actividades de impermeabilización son independientes a las actividades de mantenimiento ya establecidas en SAP-ERP, es decir, que las actividades de lavado y engrase se deben realizar según la prioridad que indica la tabla, por otro lado, si al ejecutar el mantenimiento

**preventivo rutinario al vehículo se evidencia una pieza con corrosión, se debe llevar a cabo las actividades aquí descritas.**

## **7 Impacto esperado**

### **7.1 Impactos alcanzados**

Los impactos alcanzados en este proyecto son: (I) el análisis de una matriz DOFA de la FAC para sus unidades terrestres y (II) la elaboración de una taxonomía de las tipologías del parque automotor existentes en la herramienta tecnológica SAP ERP, para facilitar la elaboración de la matriz AMEF, y así, identificar las partes más afectadas por la corrosión y su criticidad.

Con base en lo anterior, y con apoyo de encuestas dirigidas a los supervisores de las escuadrillas de mantenimiento, se toma la decisión de investigar y proponer un método anticorrosivo que se pueda implementar como una actividad de mantenimiento. Además, se puede analizar que, al llevar a cabo este proyecto, se demostrará la reducción de costos mediante un análisis comparativo y logrará la ampliación de la vida útil de dichos vehículos.

### **7.2 Impactos esperados**

El presente proyecto busca reducir los costos de mantenimiento correctivo, creando posibilidades de mantenimiento efectivos que logren aumentar la vida útil de los automotores ubicados en zonas de alta salinidad, aportando significativamente en el aumento del alistamiento vehicular, para contribuir con la seguridad y bienestar del pueblo colombiano, debido a que con los vehículos de la FAC se realizan patrullajes de seguridad, transporte de personal entre otros.

Así mismo, se logrará reducir el impacto ambiental al garantizar el ciclo de vida de los activos y evitando generar menos material de desecho que pueda afectar a la comunidad en

general, como también prevenir afectaciones de salud, en razón a que el material cuando esta corroído puede causar lesiones graves al personal de conductores o pasajeros que hacen uso de estos vehículos.

Para la Fuerza Aérea Colombiana este proyecto se podría replicar no solo a los automotores, sino a la maquinaria, equipos y aeronaves, logrando contribuir a la política presidencial de austeridad en el gasto.

## 8 Análisis Financiero

### 8.1 Costo impermeabilización y lavado de partes

Se realiza la propuesta de un escenario donde se ejecute la impermeabilización mediante un recubrimiento no metálico a la totalidad de las partes (chasis, dirección, suspensión, partes afectadas carrocería) de los 82 vehículos que componen el parque automotor.

*Tabla 9*

#### *Costos Impermeabilización Parque Automotor*

Tipología	Unid	Costo lavado	Costo materia prima	Costo mano de obra	Costo total
<b>Motocicleta</b>	41	\$ 328.000	\$ 3.694.848	\$ 830.250	\$ 4.853.098
<b>Camioneta</b>	22	\$ 264.000	\$ 3.965.203	\$ 891.000	\$ 5.120.203
<b>Bus</b>	8	\$ 120.000	\$ 2.929.176	\$ 648.000	\$ 3.697.176
<b>Carrotanque</b>	3	\$ 54.000	\$ 3.210.213	\$ 324.000	\$ 3.588.213
<b>Automóvil</b>	3	\$ 36.000	\$ 802.553	\$ 121.500	\$ 960.053
<b>Camión</b>	5	\$ 75.000	\$ 1.830.735	\$ 405.000	\$ 2.310.735
<b>Total</b>	82	\$ 877.000	\$ 16.432.729	\$ 3.219.750	\$ 20.529.479

**Nota:** Estos costos se presentan basados en una estimación de las partes con mayor afectación (chasis, dirección, suspensión y carrocería), las cantidades de materia prima a utilizar en cada tipología se establecieron según el concepto de un experto en carrocería y pintura. Cabe resaltar que, para iniciar

con las actividades de impermeabilización, se debe realizar un lavado previo de las partes a impermeabilizar.

**Tabla 10**

**Costos Lavado Parque Automotor**

Tipología	Unid	Costo lavado	Costo lavado por mes	Costo lavado por 13 años
<b>Motocicleta</b>	41	\$ 328.000,000	\$ 1.312.000,000	\$ 204.672.000,000
<b>Camioneta</b>	22	\$ 264.000,000	\$ 1.056.000,000	\$ 164.736.000,000
<b>Bus</b>	8	\$ 120.000,000	\$ 480.000,000	\$ 74.880.000,000
<b>Carrotanque</b>	3	\$ 54.000,000	\$ 216.000,000	\$ 33.696.000,000
<b>Automóvil</b>	3	\$ 36.000,000	\$ 144.000,000	\$ 22.464.000,000
<b>Camión</b>	5	\$ 75.000,000	\$ 300.000,000	\$ 46.800.000,000
<b>Total</b>	82	\$ 877.000,000	\$ 3.508.000,000	\$ 547.248.000,000

**Nota:** Los costos de lavado están proyectados para hacer 4 lavados al mes a cada uno de los 82

vehículos del parque automotor, por un tiempo total de 13 años; tiempo de vida útil de las piezas que son impermeabilizadas y lavadas con la frecuencia estipulada.

## 8.2 Costo compra flota nueva

Al realizar un análisis del escenario actual de las condiciones de mantenimiento de la flota (82 vehículos) de la FAC, se encuentra que si no se implementan las rutinas enfocadas a la prevención y mitigación de la aceleración de la corrosión, la vida útil de los vehículos según los antecedentes presentados sería únicamente de 6,5 años, lo que quiere decir, que se debe reemplazar los vehículos cada 6,5 años. En este orden de ideas, la FAC tendría que realizar una inversión millonaria por el cambio de los 82 vehículos.

**Tabla 11****Costos Flota Nueva**

Tipología	Unid	Valor Estimado	Costo total del parque automotor nuevo	
<b>Automóvil</b>	41	\$ 53.000.000	\$	2.173.000.000
<b>Bus</b>	22	\$ 390.000.000	\$	8.580.000.000
<b>Camión</b>	8	\$ 205.000.000	\$	1.640.000.000
<b>Camioneta</b>	3	\$ 130.000.000	\$	390.000.000
<b>Carrotanque</b>	3	\$ 460.000.000	\$	1.380.000.000
<b>Motocicleta</b>	5	\$ 13.000.000	\$	65.000.000
<b>Total</b>	82	\$ 1.251.000.000	\$	14.228.000.000

**NOTA: Los valores de los automotores fueron tomados de la información general de cada vehículo en Colombia compra eficiente.**

Al Invertir en la actividad de impermeabilización, representará el 3,99% del total del valor de la flota nueva y permitirá extender la vida útil por corrosión en un 50%, teniendo como retorno de inversión 6,5 años más de vida.

## 9 Conclusiones y Recomendaciones

### 9.1 Conclusiones

La vida útil del parque automotor de las zonas de Malambo - Atlántico y San Andrés Islas es de 6,5 años, es decir, el 65% de la vida útil de un vehículo expuesto a condiciones normales; esto debido a la falta de mantenimiento y actividades de prevención que reduzcan la aceleración de la corrosión en las piezas.

Actualmente no se ha generado o propuesto un plan de mantenimiento que tenga en cuenta el entorno operacional de los vehículos, es decir, que no se han estandarizado actividades preventivas o correctivas para mitigar y prevenir la aceleración de la corrosión.

Si la FAC realiza la impermeabilización general (recubrimiento no metálico) a los 82 vehículos del parque automotor e implementa la actividad preventiva de lavado y engrase durante 13 años, solo invertiría el 3,96% del valor total de la reposición de todos los vehículos y aumentaría su vida útil en un 50%.

## **9.2 Recomendaciones**

Implementar planes de mantenimiento basados en la metodología AMEF, ayuda a identificar las fallas actuales en los vehículos y plantear actividades específicas para mitigarlas y prevenirlas.

La inversión por realizar para la mitigación y prevención de la aceleración de la corrosión del parque automotor es accesible y viable para la FAC, al compararla con el valor total de la inversión de la flota nueva.

Implementar métodos enfocados para corregir y mitigar fallas específicas de los vehículos, aumenta la vida útil de los mismos y disminuye los costos de reparaciones mayores o cambio.

## **10 Bibliografía**

Ayón, V. A., Quesada, A. L. R., & Rodríguez, Y. L. (2005). Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos. *Ciencias Holguín*, XI(4), 1-11.

Benítez, L. P. T., Castellar, P. J. M., Percy, E. D. A., & Bravo, M. J. B. (2014). Uso de extractos de plantas como inhibidores de corrosión. *Informador técnico*, 78(2 (Julio-Diciembre 2014)), 155-164.

- Cajamarca Morquecho, M. A., & Romero Vintimilla, M. F. (2014). Estudio del comportamiento de los recubrimientos anticorrosivos utilizados en estructuras metálicas de edificios de la región costa del Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7030>
- Cuestas, M. (2017). Tratamientos anticorrosivos a base de pinturas especializadas para sistemas metálicos aplicados a una sala máquinas de un buque [Trabajo fin de grado, Universidad de cantabria]. Repositorio abierto de la Universidad de cantabria. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10902/12550>
- Díaz, O., & Carlota, L. (2007). Mantenimiento de grúas para puertos marítimos [QUITO/ EPN/ 2007]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/466>
- Dirección de Posgrados, Universidad ECCI. (05 de 11 de 2018). Guía Metodológica. *Guía Metodológica para trabajos de investigación*. Bogotá, Bogotá D.C., Colombia: Universidad ECCI.
- FAC. (2020). *Software de mantenimiento SAP-ERP*.
- Ferrer, J., & Checa, G. (2010). Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo. Editex.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2017). GA-JELOG-MN-008 Manual de Transporte Terrestre (MATTE).
- Fuerza Aérea Colombiana (2020). Funciones—Misiones y Operaciones Tipo. <https://www.fac.mil.co/funciones-de-la-fuerza-aerea-colombiana>
- García, J. A., León, O. G., Becerril, M. P., Márquez, A. A., & León, F. (2012). Una alternativa ecológica en el recubrimiento de materiales mediante el uso de convertidores de óxidos aplicados en probetas de acero 1010 expuestas en ambiente salino. 4.

Hidalgo, A. (2005). Manual AMEF Análisis de modo y efecto de fallas potenciales. Obtenido de <https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/>

Jiménez, J. A. S. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: Tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Tecnología en Marcha*, 28(3), 127-136.

Ley 1383 de 2010—Código Nacional de Tránsito. (2010). 30.

Maza, M. A. C. (2011). DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM, PARA LOS EQUIPOS Y VEHÍCULOS DE DINACOL S.A. 55.

Montes Villada, J. D. (2013). Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de Integra S.A. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). <https://core.ac.uk/reader/71397628>

Morcillo Linares, M., & Chico González, B. (2018). La corrosión atmosférica del acero al carbono en ambientes costeros (2024372). eBook Index. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=2024372&site=eds-live>

Pintuco. (s.f.). Obtenido de <https://pintuco.com.co/wp-content/uploads/2020/01/Desoxidante-pintoxido.pdf>

Pinturas Algrecó. (s.f.). Obtenido de <https://pinturasalgrecó.com/pdf/ALGRECO/WASH%20PRIMER.pdf>

Pinturas Algrecó. (s.f.). Obtenido de <https://pinturasalgrecó.com/pdf/ALGRECO/ANTICORROSIVO%20INDUSTRIAL.pdf>

Räuchle, F., & Tang, I. D. (1988). Corrosión localizada. *Revista de Química*, 2(2), 157-170.

Rivero, S., Chico, B., De la Fuente, D., & Morcillo, M. (2007). Atmospheric corrosion of low carbon steel in a polar marine environment. Study of the effect of wind regime. *Revista de Metalurgia*, 43(5), 370-383. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2007.v43.i5.81>

Yosmari Adames Montero, I. R. (2013). Corrosión del acero al carbono en una zona cubana muy contaminada por iones cloruro y compuestos de azufre. Corrosión del acero al carbono en una zona cubana muy contaminada por iones cloruro y compuestos de azufre. Centro de Investigaciones del Petroleo La Habana Cuba, La Habana. Obtenido de <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.uniandes.edu.co:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=f7eheadf-c3ae-4df9-8c9b-a4fbbbe9fc65%40sdc-v-sessmgr01>