



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA  
MENCIÓN AVIONES**

**TEMA: “LIMPIEZA DE CORROSIÓN EN PRODUCTOS  
AERONÁUTICOS METÁLICOS MEDIANTE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE  
SANDBLASTING, PARA LA SECCIÓN DE ESTRUCTURAS  
DEL ALA DE COMBATE Nro. 23 DE LA FUERZA AÉREA  
ECUATORIANA”.**

**AUTOR: LESLY CARLA VARGAS TERAN**

**DIRECTOR: ING. RODRIGO BAUTISTA**

**LATACUNGA**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**  
**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo titulado **“LIMPIEZA DE CORROSIÓN EN PRODUCTOS AERONÁUTICOS METÁLICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE SANDBLASTING, PARA LA SECCIÓN DE ESTRUCTURAS DEL ALA DE COMBATE Nro. 23 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”**, realizado por la señorita **LESLY CARLA VARGAS TERAN**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **LESLY CARLA VARGAS TERAN** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 03 de Marzo del 2017

---

**ING. BAUTISTA RODRIGO**  
**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**  
**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES**

### **AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **LESLY CARLA VARGAS TERAN**, con cédula de identidad 0503806291 declaro que este trabajo de titulación **“LIMPIEZA DE CORROSIÓN EN PRODUCTOS AERONÁUTICOS METÁLICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE SANDBLASTING, PARA LA SECCIÓN DE ESTRUCTURAS DEL ALA DE COMBATE Nro. 23 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de trabajo de grado en mención.

Latacunga, 03 de Marzo del 2017

---

**LESLY CARLA VARGAS TERAN**

C.I.0503806291



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**  
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **LESLY CARLA VARGAS TERAN**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“LIMPIEZA DE CORROSIÓN EN PRODUCTOS AERONÁUTICOS METÁLICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL DE SANDBLASTING, PARA LA SECCIÓN DE ESTRUCTURAS DEL ALA DE COMBATE Nro. 23 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad

Latacunga, 03 de Marzo del 2017

---

LESLY CARLA VARGAS TERAN

C.I.0503806291

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por haberme dado la oportunidad de llegar a culminar esta etapa de estudio y haberme guiado por el camino del bien para lograr mis objetivos, porque jamás soltó mi mano y no me dejó desfallecer con su infinita bondad y amor.

### **A mi madre Beatriz**

Por haberme apoyado en todo momento o situación de tristeza y felicidad, por sus buenos y oportunos consejos, sus valores, y por el valor demostrado de salir adelante ante cualquier adversidad que me ha permitido ser una mujer de bien, pero más que nada, por su amor incondicional.

### **A mi hija María Paula**

Por ser la persona por quien deseo seguir adelante, por ser mi motivación diaria; porque sin lugar a duda es mi motor para alcanzar todo lo que me propongo; cada esfuerzo, dedicación y sacrificio es en nombre de ella para que el día de mañana sea una excelente persona y profesional.

### **A mis familiares**

A mi abuelita Georgina que siempre ha sido el pilar fundamental de mi familia y que a pesar de los problemas y diferencias ha sido mi madre y padre, para demostrarme que con humildad y sencillez ningún resbalón es caída, y a toda mi familia que siempre me apoyo con una palabra de aliento, con el fin de acercarme a mis objetivos profesionales.

A todos ellos por que formaron parte del engrandecimiento profesional del que hoy ostento, el esfuerzo y dedicación es para ustedes.

## AGRADECIMIENTO

El trabajo de titulación es una de las mejores y gratificantes tareas que he realizado porque en el demostré todo el conocimiento que he recibido a lo largo de mi carrera estudiantil; sin embargo no hubiese podido lograr este tan anhelado objetivo sin la ayuda de varias personas e instituciones que me dieron su apoyo; por lo que me siento con la obligación de hacer un extensivo agradecimiento.

A la Unidad de Gestión de Tecnologías UGT-ESPE por haberme permitido formar parte de su estudiantado, porque en sus aulas recibí las más gratas enseñanzas que difícilmente olvidaré.

A todos mis distinguidos profesores que con nobleza y amor a su profesión marcaron mi vida estudiantil con sus enseñanzas de vida y que con su apoyo, motivaron a la culminación de este gran esfuerzo; a mi tutor el Ing. Rodrigo Bautista, y a la Ing. Emma Campaña por su sacrificio ofrecido para finiquitar este trabajo de titulación, y al Ing. Marco Basantes por su tiempo compartido y por impulsarme a continuar mis objetivos profesionales.

A todas las empresas en las que participe activamente como profesional por ser quienes confiaron en mi talento humano y me apoyaron dándome la oportunidad de pertenecer a las filas de su prestigiosa institución; a todos y cada uno de mis compañeros que con un granito de arena me ensaaron amar cada día más a mi profesión.

Existen muchas personas que formaron parte de mi vida estudiantil y profesional a las que no he nombrado pero también me gustaría agradecerles por su apoyo, amistad, consejos y animo que me brindaron oportunamente en los momentos en los que sentía desfallecer, gracias a todos porque ustedes son meritorios de mi esfuerzo.

## ÍNDICE

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>TEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Justificación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivos</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.1 Objetivo general</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Alcance</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Corrosión</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Factores que influyen en la corrosión</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3 Tipos de corrosión</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3.1 Corrosión uniforme</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3.2 Corrosión por picadura</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3.3 Corrosión de células de concentración</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.4 Corrosión por células activo-pasivas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.5 Corrosión filiforme</b> .....	<b>11</b>

<b>2.3.6 Corrosión intergranular .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.7 Corrosión de exfoliación .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.8 Corrosión galvánica.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.9 Corrosión bajo tensión.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.10 Corrosión por fatiga.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.11 Corrosión por fricción .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Procedimientos de eliminación de corrosión.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.1 Químico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Blasting.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Técnicas básicas de eliminación de la corrosión .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.1 Preparativos para reelaborar .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.2 Extracción de la corrosión por blasting.....</b>	<b>20</b>
<b>2.6 Limpieza de corrosión .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.1 Limpieza con solventes.....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.2 Limpieza con herramienta manual .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.3 Limpieza con herramienta de fuerza o mecánica.....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.4 Limpieza de acero nuevo a la flama .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.5 Limpieza con abrasivo a metal blanco.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.6 Limpieza con abrasivo grado comercial.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.7 Limpieza con abrasivo a ráfaga.....</b>	<b>23</b>
<b>2.6.8 Limpieza con ácido o decapado .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6.9 Limpieza con abrasivo cercano a metal blanco .....</b>	<b>23</b>
<b>2.7 Sandblasting .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.1 Descripción .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.2 Tipos de abrasivos utilizados en el sand blast .....</b>	<b>25</b>
<b>2.7.3 Equipos.....</b>	<b>28</b>
<b>2.7.4 Tipos de abrasivos.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.5 Aplicaciones.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.6 Especificaciones para la preparación de superficies .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.7 Usos y aplicaciones del sand blasting.....</b>	<b>32</b>
<b>2.7.8 Beneficios de usar el sand blasting .....</b>	<b>32</b>
<b>2.7.9 Seguridad del equipo de sand blasting .....</b>	<b>33</b>

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>34</b>
<b>DESARROLLO DEL TEMA.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Preliminares .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Implementación del equipo portátil de sandblasting.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Descripción del equipo.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Herramientas a utilizar.....</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Materiales necesarios.....</b>	<b>36</b>
<b>3.6 Equipos de protección personal para la construcción y uso del equipo.....</b>	<b>38</b>
<b>3.7 Construcción del equipo portátil de sandblasting.....</b>	<b>39</b>
<b>3.8 Chequeo funcional del equipo de sandblasting.....</b>	<b>52</b>
<b>3.9 Implementación de dos manuales de operación y mantenimiento del equipo .....</b>	<b>53</b>
<b>3.10 Análisis económico .....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>4.1 Conclusiones .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 Recomendaciones .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CÉLULA DE CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA .....	6
FIGURA 2: ELIMINACIÓN DE LA CORROSIÓN.....	6
FIGURA 3: CORROSIÓN UNIFORME .....	8
FIGURA 4: CORROSIÓN POR PICADURA .....	9
FIGURA 5: CORROSIÓN DE CÉLULAS DE CONCENTRACIÓN.....	10
FIGURA 6: CORROSIÓN FILIFORME .....	11
FIGURA 7: CORROSIÓN INTERGRANULAR DEL ALUMINIO 7075-T6 ....	12
FIGURA 8: CORROSIÓN DE EXFOLIACIÓN .....	13
FIGURA 9: CORROSIÓN GALVÁNICA DE MAGNESIO.....	13
FIGURA 10: CORROSIÓN BAJO TENSIÓN .....	14
FIGURA 11: CORROSIÓN POR FRICCIÓN .....	16
FIGURA 12: EQUIPOS DE SUCCIÓN.....	28
FIGURA 13: EQUIPOS DE PRESIÓN .....	29
FIGURA 14: RESERVORIO DE ARENA .....	39
FIGURA 15: PERFORACIÓN DEL CILINDRO RESERVORIO .....	40
FIGURA 16: INSTALACIÓN DEL PUNTO DE RECARGA DE ARENA .....	40
FIGURA 17: INSTALACIÓN DEL PUNTO DE SALIDA DE ARENA .....	41
FIGURA 18: INSPECCIÓN DE CONTENEDOR.....	41
FIGURA 19: CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DEL EQUIPO.....	42
FIGURA 20: INSTALACIÓN DE LOS EJES Y RUEDAS DE TRANSPORTE .....	42
FIGURA 21: SUJECIÓN DEL RESERVORIO DE ARENA A LA ESTRUCTURA DE SOPORTE .....	43
FIGURA 22: ACOPLAMIENTO DEL SOPORTE PARA EL FILTRO DE AIRE .....	43
FIGURA 23: ELABORACIÓN DE LA CAJA DE ALMACENAMIENTO.....	44
FIGURA 24: ELABORACIÓN DE LA TAPA DE CAJA DE ALMACENAMIENTO .....	44
FIGURA 25: INSTALACIÓN DE LA ALDABA DE SEGURIDAD .....	45
FIGURA 26: PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE MECÁNICA DEL EQUIPO PARA EL PROCESO DE PINTURA .....	45
FIGURA 27: INSTALACIÓN DE LA CAJA DE ALMACENAMIENTO DE ACCESORIOS SOBRE EL SOPORTE PRINCIPAL DEL EQUIPO.....	46

FIGURA 28: PROCESO DE PINTURA DE LA PARTE MECÁNICA DEL EQUIPO .....	46
FIGURA 29: ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO DE FILTRADO DE AIRE ....	47
FIGURA 30: VERIFICACIÓN DE ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO DE FILTRADO DE AIRE.....	47
FIGURA 31: INSTALACIÓN DEL FILTRO DE AIRE EN LA ESTRUCTURA DEL EQUIPO .....	48
FIGURA 32: ENSAMBLAJE DE ACCESORIOS INFERIORES DEL CILINDRO CONTENEDOR DE ARENA .....	48
FIGURA 33: MONTAJE DE ACCESORIOS INFERIORES DEL CILINDRO CONTENEDOR DE ARENA .....	49
FIGURA 34: CONEXIÓN DE LA PISTOLA DE SUCCIÓN A SUS RESPECTIVAS CAÑERÍAS .....	49
FIGURA 35: ACOPLAMIENTO DEL CONJUNTO DE LA PISTOLA Y CAÑERÍAS DE SUCCIÓN AL EQUIPO.....	50
FIGURA 36: VISTA DEL CONJUNTO MECÁNICO Y NEUMÁTICO INSTALADOS .....	50
FIGURA 37: NOMBRE DEL EQUIPO .....	51
FIGURA 38: EPP'S DE USO OBLIGATORIO PARA EL USO DEL EQUIPO .....	51
FIGURA 39: PRECAUCIÓN DE PRESIÓN DE OPERACIÓN .....	51
FIGURA 40: PRECAUCIÓN DE MATERIAL DE LLENADO .....	52
FIGURA 41: DIRECCIÓN DEL TAPÓN .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Comparación de materiales abrasivos utilizados para blasting..	26
TABLA 2 Lista de Herramientas.....	36
TABLA 3 Lista de Materiales.....	37
TABLA 4 Lista de EPP.....	38
TABLA 5 Total de pruebas del equipo.....	52
TABLA 6 Total de costos primarios.....	62
TABLA 7 Total de costos secundarios.....	64
TABLA 8 Total de costos del proyecto.....	64

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación su principal objetivo es ayudar a la limpieza de corrosión en productos aeronáuticos metálicos mediante la implementación de un equipo portátil de sandblasting, para la sección de estructuras del Ala de Combate Nro. 23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

El sandblasting es un proceso frecuentemente utilizado para dar acabado o pulido a productos de fundición, remoción de pintura de superficies metálicas, generar grabados en vidrio y para propósitos artísticos entre otros. Se realiza utilizando un compresor de aire o vapor, dirigiendo una corriente a presión de un material particulado hacia la superficie de interés; específicamente se usa un chorro abrasivo que es un proceso para la limpieza o acabado de metales ferrosos.

El chorro abrasivo es utilizado para la eliminación de óxido y corrosión; para la limpieza antes de pintar o dar protección. Las prácticas estándar de limpieza por chorro deben ser adoptadas. El material comúnmente utilizado para este proceso es la arena silícica, en algunas ocasiones también se usa otros materiales afines. Puede ser llevada a cabo en lugares confinados o abiertos.

Este proceso se caracteriza por generación de ruido, manejo de altas presiones y uno de los problemas más críticos, una alta concentración de material particulado fino en el lugar de trabajo; ya que la arena se fractura en finas partículas las cuales son suspendidas en el aire formando nubes de polvo. Entre sus principales beneficios son optimizar resultados con mayor uniformidad, abarata costos en mano de obra, minimiza tiempos de trabajo, reducir tiempos de mantenimiento, obtener mayor anclaje y adherencia de recubrimientos, conseguir mayor pureza del material con un mínimo de esfuerzo.

### **PALABRAS CALVE:**

- **CHORRO ABARSIVO**
- **MATERIAL PARTICULADO**
- **OXIDO**
- **CORROSION**
- **ARENA SILICICA**

# CAPÍTULO I

## TEMA

### 1.1 Antecedentes

El 24 de Octubre de 1978 el Ala de Combate No. 23 da inicio a sus operaciones aéreas con el nombre de Base Aérea Eloy Alfaro pasando a constituirse desde ese momento en la espina dorsal de la aviación de combate en el Ecuador, y desde ese instante, la población manabita y ecuatoriana, han sido fieles testigos de momentos de gloria y hazañas que han forjado a sus hombres (fuerzaaerea, 2017).

A lo largo de su existencia ha albergado a varios escuadrones de aviones entre los cuales se tiene el Escuadrón de Combate Nro. 2311 “Dragones” quienes estaban conformados por los muy característicos aviones Cesna A-37B, el Escuadrón de Combate Nro. 2321 “Tiburones” dotados de las aeronaves Lockheed T-33 y por último el Escuadrón de Combate Nro.2313 “Halcones” integrado por aviones de fabricación inglesa Strikemaster Mk-89 de la British Aerospace (fuerzaaerea, 2017).

Todos estos escuadrones a su debido tiempo llenaron de gloria a nuestra nación dando muestra de la excelente preparación técnica y operativa de sus aeronaves, y de todo su personal que con un profundo sentimiento cívico y la disposición de ofrendarlo todo por su país. En el engrandecimiento de su historia ha participado generaciones de Oficiales, Aerotécnicos y Servidores Públicos, que han marcado su paso basados en el profesionalismo, entrega al trabajo y sobre todo dejando ejemplo de amor a la patria (fuerzaaerea, 2017).

En el año 2009 a través de un proceso de modernización de la Fuerza Aérea se adquieren aviones de fabricación brasileña Súper Tucano A-29B los cuales son comprados de paquete y con tecnología de última generación quienes remplazaron a los anteriormente mencionados dando excelentes resultados por la robustez de sus características que les han permitido operar sin mayores dificultades hasta la actualidad (fuerzaaerea, 2017).

De esta manera es posible en el futuro que un piloto nuevo sea entrenado en todo lo que tiene que ver con el combate aéreo aire-tierra y aire-aire, en un avión de bajo costo de tal manera de reducir la cantidad de misiones de transición que requiera para volar aviones de alto rendimiento cuyo costo de operación es extremadamente alto, por lo tanto se logrará un sistema de entrenamiento más ágil, y sobre todo a un costo reducido (fuerzaaerea, 2017).

La sección de estructuras del ala de combate No. 23 es aquella que abarca al mantenimiento de su especialidad de todos los escuadrones existentes en dicha base; mencionada sección al no contar con un equipo de limpieza de corrosión debe utilizar otros métodos de limpieza como el método químico que es altamente peligrosa la manipulación de estos, sin el equipo de protección personal, y demanda más tiempo en ciertas tareas adicionalmente genera más costos a la base aérea; por lo que es factible implementar un equipo portátil de sandblasting debido a que actualmente no se cuenta con un equipo para el control o cura de la corrosión que se presenta en los diferentes productos ferrosos

## **1.2 Planteamiento del problema**

Los problemas que presenta el ala de combate No. 23 por no contar con un equipo de limpieza de corrosión son:

- Uso de excesivo de tiempo en métodos alternativos de limpieza de corrosión implementado por los técnicos;
- Pérdidas materiales por no contar con un exhaustivo control de corrosión y por ende no se realiza la limpieza de diferentes partes;
- Contaminación del personal por ciertos químicos que utilizan para realizar la limpieza de corrosión;
- Fuga de dinero para la institución debido a que no se cuenta con un equipo de limpieza y se debe trasladar a otros lugares para que cumplan con dichas tareas

- Movilización de técnicos y partes aeronáuticos para proporcionar un adoctrinamiento en el uso de diferentes máquinas y métodos de limpieza que cuentan con un manejo especial.

A pesar de que sus talleres poseen algunos elementos para contrarrestar la propagación de corrosión siempre es importante optar por otras formas de inspección y limpieza, para ello es necesaria la implementación de un equipo portátil de sandblasting, para la sección de estructuras, que será de gran ayuda para mejorar los trabajos que se efectúan en dicha sección, además que se podrá llevar a cabo un control efectivo de la corrosión. Con el fin de conseguir este objetivo, es necesario implementar una nueva herramienta, la cual será de vital importancia en la incursión de los trabajos, para el buen desempeño del cuerpo de aerotécnicos.

### **1.3 Justificación**

La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno; por lo que es un problema industrial importante, pues puede causar accidentes (ruptura de una pieza) y, además, representa un costo importante para la empresa. (Materials, 1996)

Por ello es importante considerar la implementación de una herramienta especial de eliminación de corrosión en productos aeronáuticos metálicos que ayudara al cumplimiento de trabajos de una forma técnica, garantizando la tarea a desarrollar, evitando de manera inadecuada el esfuerzo físico y optimizando el tiempo requerido para ejecutar estas actividades por parte del personal de aerotécnicos de la sección de Estructuras del Ala de Combate Nro. 23.

La presente investigación es factible realizar debido a la necesidad de los aerotécnicos y de la demanda de trabajos que realizan siendo la limpieza de corrosión una de las tareas con mayor dificultad, debido a que no se

cuenta con una herramienta que logre cumplir con las expectativas y los parámetros establecidos en los manuales de mantenimiento.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Ejecutar la limpieza de corrosión en productos aeronáuticos metálicos mediante la implementación de un equipo portátil de sandblasting, para la sección de estructuras del ala de combate Nro. 23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, con la finalidad de satisfacer las necesidades laborales y facilitar los trabajos que se desempeñen por los técnicos de dicha sección.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Recopilar y clasificar de los patrones de calidad, productividad y costos adecuados;
- Adquirir herramienta y equipos necesarios para la ejecución de la limpieza de estructuras de acero para remover pintura, óxido y otros contaminantes de corrosión;
- Realizar el proceso de limpieza de corrosión de productos aeronáuticos metálicos y proporcionar un acabado de superficies en el que incluye la remoción de rebabas y mejora de aspectos visuales.

## **1.5 Alcance**

El presente trabajo de investigación pretende ofrecer beneficios y facilidades a los aerotécnicos en los trabajos y tareas efectuadas en la sección de estructuras del Ala de Combate Nro. 23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, optimizando así su rendimiento laboral y colaborando al engrandecimiento de la institución.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

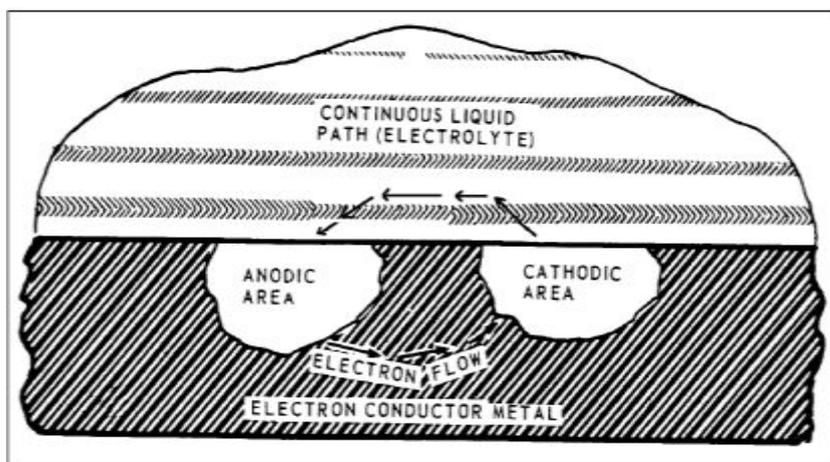
#### 2.1 Corrosión

Se entiende por corrosión a la degradación del metal o de una parte del mismo, debida a la tendencia natural para combinarse con el oxígeno la razón por la que algunos elementos se atraen y se combinan entre sí, se debe a que todos ellos intentan alcanzar un estado energético estable, o lo que es igual a completar su última capa energética, con la excepción de los gases nobles que ya la tienen completada (Morales, 2013). Es conveniente evitar interpretaciones erróneas entre oxidación y corrosión:

- **Oxidación.-** Es el proceso químico de oxidación-reducción en el que se produce la combinación química del metal con el oxígeno, cuyo producto es otro material diferente.
- **Corrosión.-** Es el efecto físico resultante de la transformación producida al combinar el metal con el oxígeno, del que resulta otro producto con unas características mecánicas muy parecidas (Morales, 2013).

En este nuevo material se produce a expensas de parte del espesor del metal, con eso la pieza original cambia de aspecto y se va debilitando y puede llegar a destruirse por completo, por lo que cabe recalcar que cada material se comporta de forma diferente según sus propias características; mientras que para algunos materiales puede llegar a ser insignificante y es hasta beneficioso y en otros caso ocurre todo lo contrario (Morales, 2013). Deben existir cuatro condiciones antes de que pueda producirse corrosión electroquímica, y son:

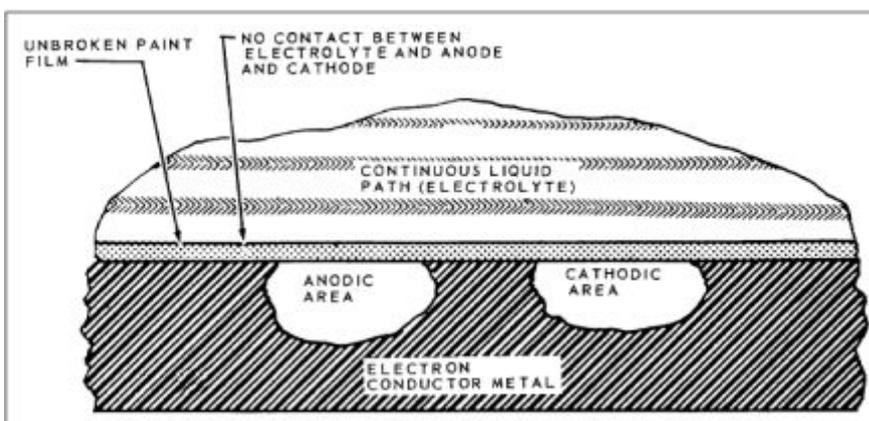
1. Un metal sujeto a corrosión (ánodo);
2. Un material conductor distinto (Cátodo), que tiene menos tendencia a corroerse;
3. Presencia de un sistema continuo, conductivo trayectoria del líquido (electrolito); y
4. El contacto eléctrico entre el ánodo y el cátodo (usualmente en forma de contacto metálico como remaches, pernos y corrosión) (FAA, 2001).



**Figura 1:** Célula de corrosión electroquímica

**Fuente:** (FAA, 2001)

La eliminación de cualquiera de estas condiciones detendrá la corrosión electroquímica.



**Figura 2:** Eliminación de la corrosión

**Fuente:** (FAA, 2001)

## 2.2 Factores que influyen en la corrosión

Algunos factores que influyen en la aparición de corrosión metálica y la velocidad de propagación son:

1. Tipo de metal;
2. Tratamiento térmico y dirección del grano;
3. Presencia disímil, y un metal más vulnerable;
4. Superficies anódicas y catódica (corrosión galvánica);
5. Temperatura;
6. Presencia de electrolitos (agua salada, fluidos de baterías, etc.);
7. Disponibilidad de oxígeno;
8. Presencia de organismos biológicos;
9. Estrés mecánico en la corrosión metálica;
10. Tiempo de exposición de un producto a un ambiente corrosivo;
11. Marcas de plomo / lápiz de grafito en las superficies metálicas de aviones (FAA, 2001),

## **2.3 Tipos de corrosión**

### **2.3.1 Corrosión uniforme**

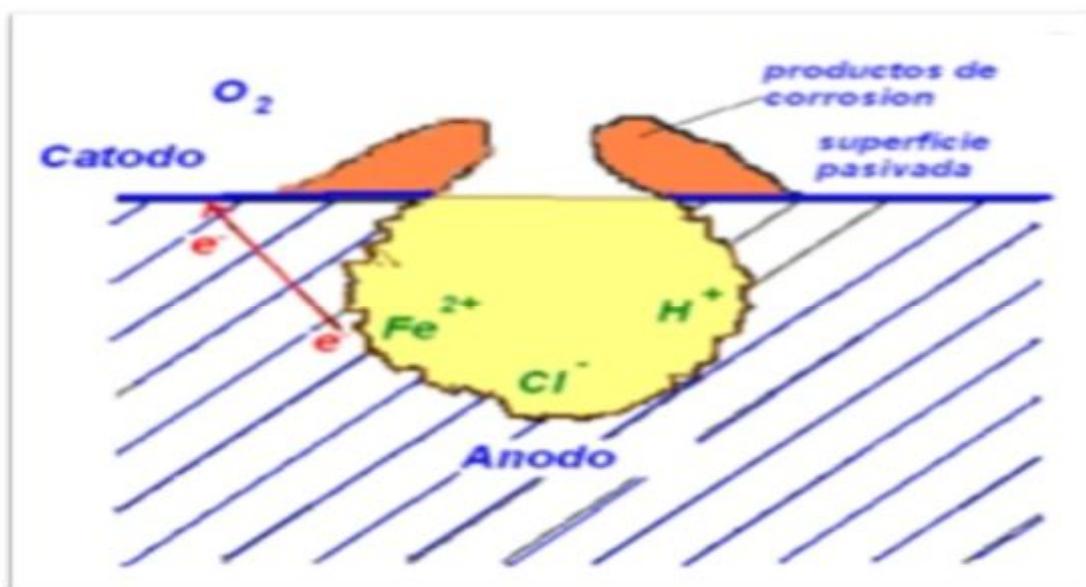
La corrosión superficial general es la forma más común de corrosión y resulta de un ataque químico directo sobre una superficie metálica y sólo involucra la superficie metálica. Esta corrosión suele ocurrir en una amplia área y es más o menos igual en dispersión. En una superficie pulida, este tipo de corrosión se ve por primera vez como un embotamiento general de la superficie, y si se deja que continúe, la superficie se vuelve áspera y posiblemente helada en apariencia (FAA, 2001).



**Figura 3:** Corrosión uniforme  
**Fuente:** (TECNOLOGUAHERR, 2016)

### 2.3.2 Corrosión por picadura

La corrosión por picadura es una de las formas más destructivas e intensas de corrosión. Puede ocurrir en cualquier metal, pero es más común en los metales que forman películas de óxido protector, como el aluminio y las aleaciones de magnesio. Es primeramente perceptible como depósito polvoriento blanco o gris, similar al polvo, que mancha la superficie. Cuando se limpia el depósito, se pueden ver pequeños agujeros u hoyos en la superficie. Estas pequeñas aberturas de superficie pueden penetrar profundamente en los miembros estructurales y causar daños completamente fuera de proporción con su aspecto superficial (FAA, 2001).



**Figura 4:** Corrosión por picadura  
**Fuente:** (TECNOLOGUAHERR, 2016)

### 2.3.3 Corrosión de células de concentración

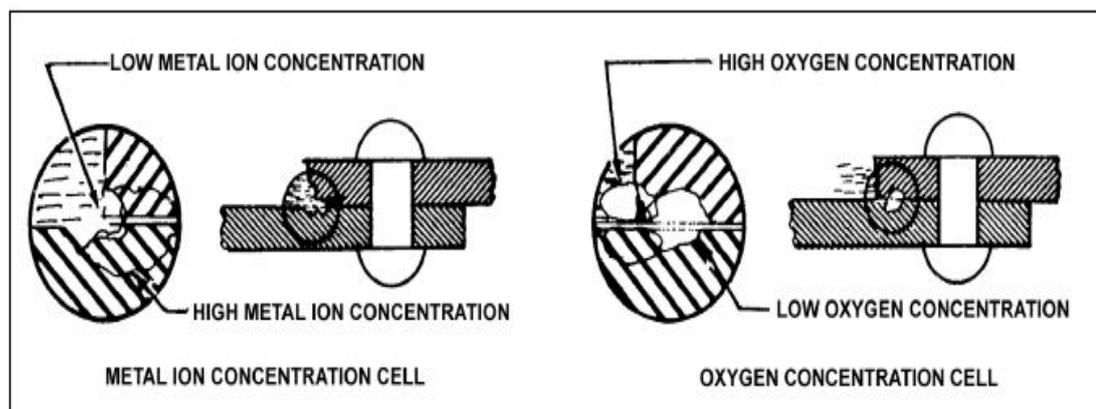
La corrosión de las células de concentración, conocida como corrosión por Grietas es la corrosión de metales en una junta metal-metal, la corrosión en el borde de una junta aunque los metales unidos son idénticos, o la corrosión de un punto en la superficie metálica cubierta por un material extraño. La concentración de iones metálicos y concentración de células de oxígeno son los dos tipos generales de corrosión de las células de concentración (FAA, 2001).

- **Células de concentración de iones metálicos.-** La solución puede consistir en agua e iones del metal que está en contacto con el agua. Una alta concentración de iones metálicos normalmente existe en superficies en las que la solución está estancada, y con una baja concentración de metal. Existirá una potencial electricidad entre los dos puntos; el área del metal en contacto con la baja concentración de iones metálicos será anódica y el área en contacto con la alta concentración de iones metálicos será catódica y no muestran signos de corrosión (FAA, 2001).
- **Células de concentración de oxígeno.-** La solución en contacto con la superficie metálica normalmente contiene oxígeno disuelto. Una célula de oxígeno puede desarrollarse en cualquier punto en el cual el oxígeno en el aire no se permite difundir dentro de la solución, creando así una diferencia en la concentración de oxígeno entre dos puntos (FAA, 2001). Los lugares típicos de la concentración de células de oxígeno están en juntas, madera, caucho y otros materiales en contacto con la superficie metálica. La corrosión ocurrirá en el área de baja concentración de oxígeno (ánodo). Aleaciones tales como acero inoxidable son particularmente susceptibles a este tipo de corrosión por grietas (FAA, 2001).

### 2.3.4 Corrosión por células activo-pasivas

Dependen de una Película, usualmente un óxido, para protección contra la corrosión son propensos a un ataque corrosivo rápido por células activas pasivas. Las células activas pasivas son a menudo referidas a como un tipo de corrosión de células de concentración. Sin embargo, la célula activa-pasiva actúa en dos formas de trabajo corrosión conjuntamente. La acción corrosiva suele comenzar con una celda de concentración de oxígeno. Como ejemplo, depósitos de sal en la superficie metálica en presencia de agua que contiene oxígeno.

La película pasiva se romperá debajo de los cristales de sal. Una vez que la Película se rompe, el metal activo debajo de la película estará expuesto a un ataque corrosivo. Resultará un picado rápido del metal activo. Esta reacción puede llegar a ser localmente intensa debido a varios factores. Primero la reacción es aumentada por la zona afectada, ya que la proporción del metal base expuesto es pequeño comparado con el entorno metálico no reactivo. Esto efectivamente concentra el punto focal de la reacción, a menudo resultante en pozos profundos en un corto tiempo y una mayor corrosión (FAA, 2001).



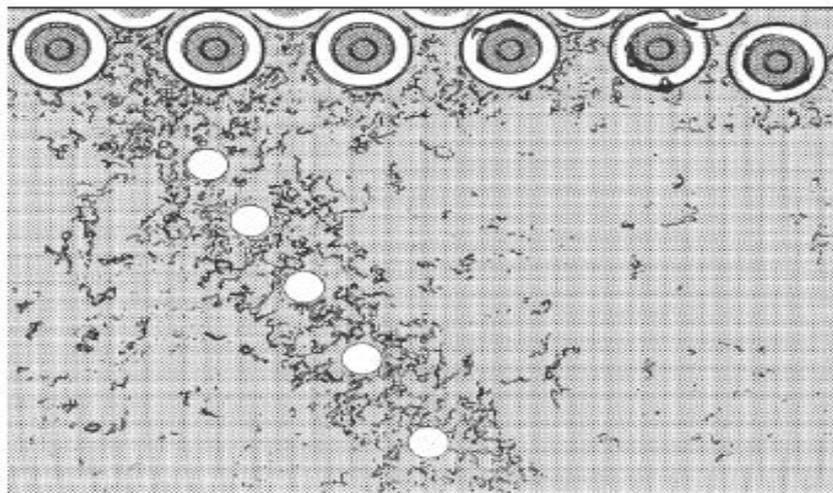
**Figura 5:** Corrosión de células de concentración

**Fuente:** (FAA, 2001)

### 2.3.5 Corrosión filiforme

La corrosión es una forma especial de concentración de oxígeno, celda que se produce en superficies metálicas que tiene un sistema de revestimiento orgánico. Es reconocido por su característico rasgo similar a un tipo cordón de corrosión debajo de la película de pintura. Los acabados de poliuretano son especialmente susceptibles a la corrosión filiforme. Cuando la humedad relativa del Aire está entre 78 y 90 por ciento y la superficie es ligeramente ácida. Esta corrosión usualmente ataca superficies de acero y aluminio. Las secuelas nunca se cruzan en acero, y cuando lo hacen una sobre otra superficie de aluminio, el daño es más profundo y más severo para el aluminio; si la corrosión no se elimina, el área será tratada con una aplicación de protector, la corrosión puede conducir a la corrosión inter-granular, especialmente alrededor de los sujetadores y en las costuras. (FAA, 2001).

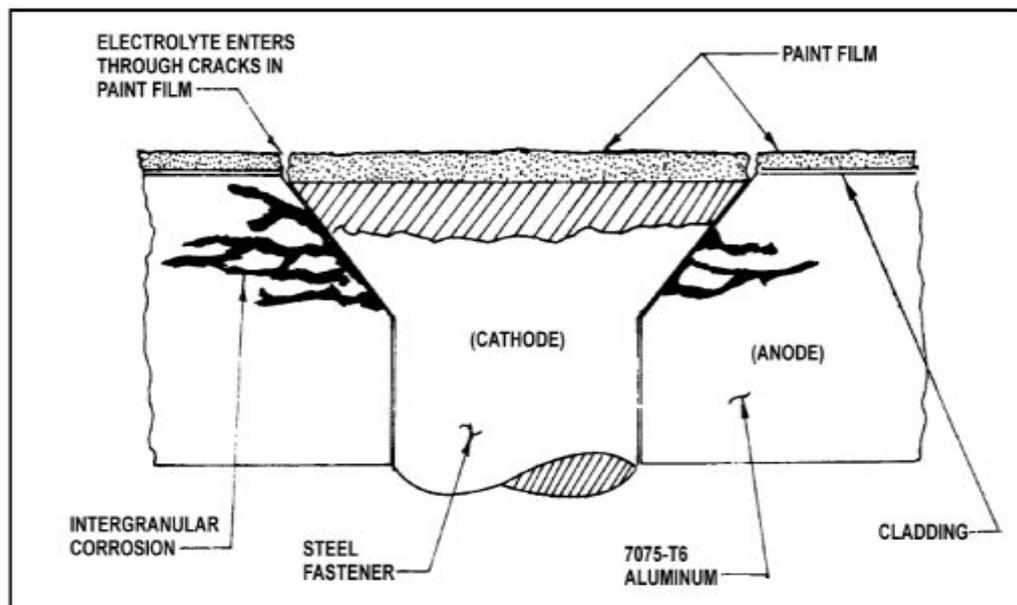
La corrosión filiforme se puede quitar usando un equipo de sand blasting usando vidrio granallado. Este tipo de corrosión puede evitarse almacenando el avión en un ambiente con una humedad relativa inferior a 70 por ciento, utilizando sistemas de revestimiento con velocidad de difusión de oxígeno y vapores de agua; y lavando la aeronave para eliminar los ácidos contaminantes de la superficie (FAA, 2001).



**Figura 6:** Corrosión filiforme  
**Fuente:** (FAA, 2001)

### 2.3.6 Corrosión intergranular

La corrosión intergranular es un ataque al grano de un metal. Una sección transversal de cualquier aleación del metal. Eso consiste en cantidades de granos individuales, y cada uno de estos pequeños granos tiene un límite claramente definido que difiere químicamente del metal dentro del grano. El grano del centro puede reaccionar con cada uno como ánodo y cátodo cuando están en contacto con un electrolito. Puede ocurrir una corrosión selectiva rápida de los límites de grano. Aleaciones de aluminio de alta resistencia tales como 2014 y 7075 son más susceptibles a corrosión intergranular si han sido incorrectamente tratados térmicamente y luego expuestos a un ambiente corrosivo (FAA, 2001).

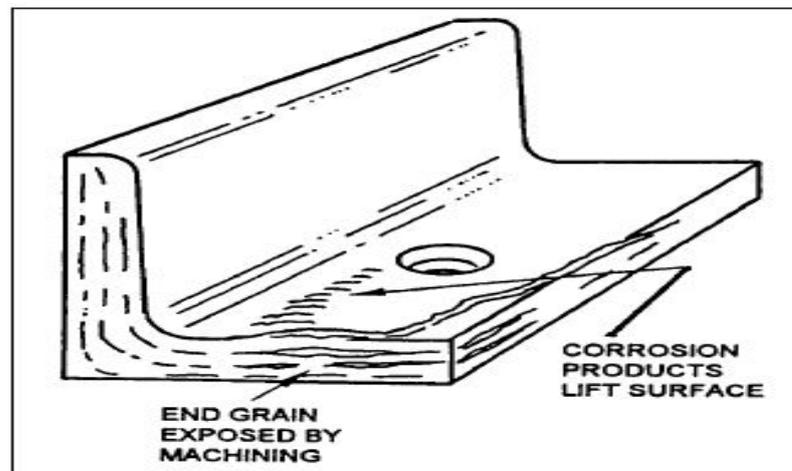


**Figura 7:** Corrosión intergranular del aluminio 7075-t6  
**Fuente:** (FAA, 2001)

### 2.3.7 Corrosión de exfoliación

Este tipo de corrosión es una forma avanzada de corrosión y se muestra elevando los granos de superficie de un metal por fuerza de la expansión de los productos de los límites de grano justo debajo de la superficie. Es una evidencia visible corrosión intergranular y es más frecuente visto en

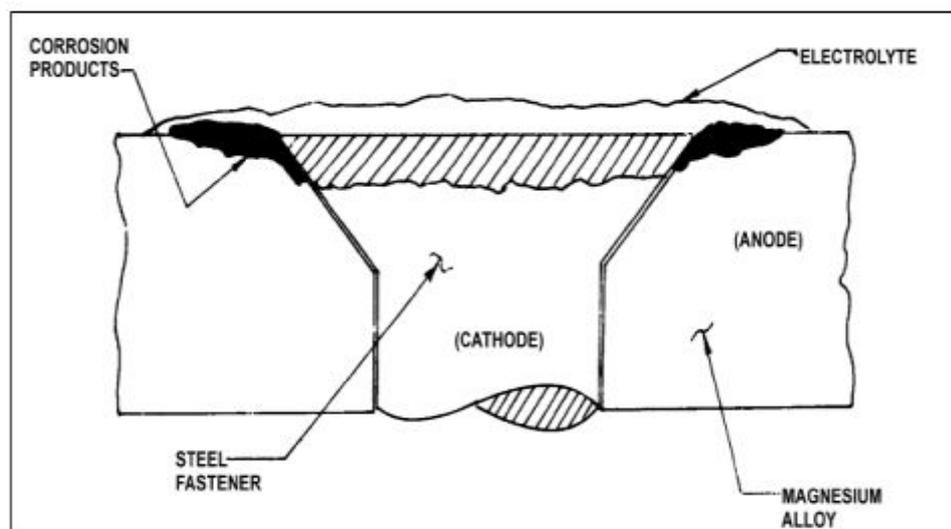
secciones extruidas donde el grosor del grano son generalmente menos que en formas laminadas (FAA, 2001).



**Figura 8:** Corrosión de exfoliación  
**Fuente:** (FAA, 2001)

### 2.3.8 Corrosión galvánica

Este tipo de corrosión se produce cuando dos metales entran en contacto o en presencia de un electrólito. Reconocible por la presencia de la acumulación de corrosión en la unión entre dos metales (FAA, 2001).

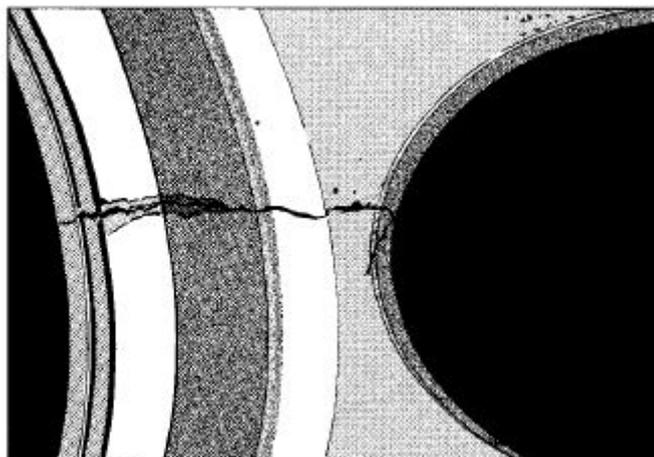


**Figura 9:** Corrosión galvánica de aluminio  
**Fuente:** (FAA, 2001)

### 2.3.9 Corrosión bajo tensión

Esta forma de corrosión implica una constante tensión cíclica, actuando conjuntamente con un ambiente químico perjudicial. El estrés puede ser causado por factores internos o externos (FAA, 2001).

- a) El estrés interno puede quedar atrapado en una parte de la estructura durante los procesos de fabricación como el trabajo en frío o por desigualdad desde altas temperaturas. La mayoría de los fabricantes utilizan procesos con operación de alivio del estrés. Aun así, a veces el estrés permanece atrapado. La tensión puede ser externa introducida en la estructura parcial por remachado, soldadura, atornillado, sujeción, ajuste a presión, etc. Si se produce un ligero desajuste, o si existe sobre-torque, el estrés interno estará presente.
- b) El estrés interno es más importante que el estrés superficial porque la corrosión por esfuerzo es difícil reconocer antes de que haya superado el factor de seguridad superficial. El nivel de estrés varía de punto a punto dentro del metal. Cerca de la elasticidad son generalmente necesarios para promover el agrietamiento por corrosión por tensión. Sin embargo, las fallas pueden ocurrir en menores tensiones. Los ambientes específicos que han causado corrosión por estrés o agrietamiento de ciertas aleaciones son:



**Figura 10:** Corrosión bajo tensión  
**Fuente:** (FAA, 2001)

1. Soluciones de sal y agua de mar causan estrés por corrosión de alta resistencia al acero tratado térmicamente y aleaciones de aluminio.
2. Alcohol metílico - ácido clorhídrico son soluciones que causarán fisura por corrosión por tensión de algunas aleaciones de titanio.
3. En las aleaciones de magnesio pueden causar estrés por el aire húmedo.
4. La corrosión por estrés puede reducirse aplicando revestimientos protectores, tratamientos térmicos de alivio del estrés, utilizando inhibidores de la corrosión, o controlar el medio ambiente (FAA, 2001).

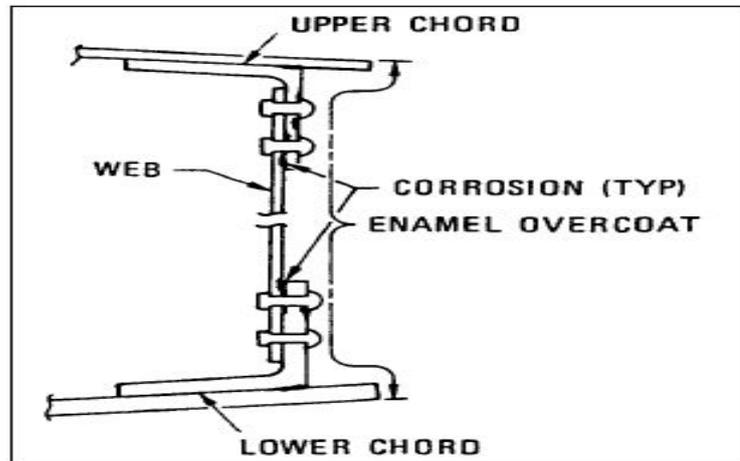
### **2.3.10 Corrosión por fatiga**

Este tipo de corrosión implica un esfuerzo cíclico y una corrosión al ambiente. Los metales pueden soportar tensión durante un número infinito de ciclos por tanto tiempo como el estrés está por debajo del límite de resistencia del metal. Una vez superado el límite, el metal eventualmente se romperá por fatiga. Sin embargo, cuando la parte o estructura es sometido al estrés cíclico también está expuesto al ambiente, el nivel de tensión para el fallo puede reducirse muchas veces. Así, el fenómeno ocurre en niveles de estrés que pueden ser peligrosos, dependiendo del número de ciclos asignados a la parte de vida limitada (FAA, 2001).

- a) El fallo por corrosión por fatiga ocurre en dos etapas, durante la primera etapa, la acción de los daños por corrosión y tensión cíclica se produce formaciones de picaduras y grietas a tal grado que la fractura por el estrés cíclico ocurre incluso si el ambiente corrosivo es completamente eliminado.
- b) La segunda etapa es esencialmente una fatiga que procede por propagación de la grieta (a menudo de un pozo de corrosión u hoyos). Se controla principalmente por el estrés; los efectos de concentración y las propiedades físicas del metal, fractura de una pieza metálica debido a la corrosión por fatiga, generalmente ocurre a un nivel de estrés muy por debajo del límite de fatiga de una parte no corroída, aunque la cantidad de corrosión es relativamente pequeña (FAA, 2001).

### 2.3.11 Corrosión por fricción

Este tipo de Corrosión (también conocida como oxidación por fricción) puede ocurrir en la interfaz de dos superficies altamente cargadas que se supone que no se mueven entre sí. Sin embargo, la vibración puede hacer que las superficies se froten resultando en un desgaste abrasivo conocido como fricción. La película protectora sobre las superficies metálicas se elimina en esta acción de frotamiento. Con el frotamiento continuo, partículas de metal cortadas de la superficie del metal se combinan con oxígeno para formar óxido metálico. A medida que estos óxidos se acumulan, provocan daños por acción abrasiva y aumento del estrés. El ejemplo más común de este tipo de corrosión son los remaches de la cubierta de escape del motor y pieles de ala. Esto es una reacción de corrosión que no es accionada por un electrólito, y de hecho, la humedad puede inhibir la reacción; aplicando un lubricante o instalación de un material resistente a la fricción entre las dos superficies (FAA, 2001).



**Figura 11:** Corrosión por fricción  
**Fuente:** (FAA, 2001)

## 2.4 Procedimientos de eliminación de corrosión

### 2.4.1 Químico

Cuando se requiera usar o manejar disolventes, limpiadores especiales, decapantes de pintura (Álcalis fuertes y ácidos), corrosión (Removedores de

corrosión que contienen ácidos), o materiales superficiales de activación (Alodine 1200), observe las siguientes precauciones de seguridad:

1. Evitar la respiración prolongada del disolvente o vapores ácidos.
2. Nunca agregue agua al ácido. Siempre agregue el ácido al agua.
3. Mezcle todos los productos químicos según las instrucciones del fabricante.
4. Antes de comenzar el trabajo debe estar disponible en el área de trabajo; agua limpia para uso de emergencia.
5. Evite el contacto directo de solventes, limpiadores con la piel ya sea; prolongado o repetido. Se debe usar guantes de goma, gafas de plástico o protectores faciales de plástico y también usar ropa protectora cuando se limpian, recubrimiento superficies superiores.
6. Al mezclar los álcalis con agua u otra sustancia, use contenedores que estén hechos para soportar el calor generado por este proceso.
7. Lave cualquier decapante, o material de recubrimiento; si estuvo en contacto con la piel o ropa.
8. Materiales salpicados en los ojos deben eliminarse inmediatamente con agua y ayuda médica obtenida de inmediato.
9. No coma ni mantenga alimentos en áreas donde los venenos pueden ser absorbidos. Siempre lavar las manos antes de comer o fumar.
10. Verifique que el área para cualquier operación de limpieza o tratamiento, alrededor de 50 pies; este en un punto bajo de inflamación (140 ° F o menos) debido a que los materiales que están siendo utilizados son potenciales fuentes de ignición.
11. Debe estar disponible para la limpieza o área de tratamiento los equipos de extinción de incendios adecuados
12. El equipo de tierra debe ser eficaz en donde se encuentren utilizando materiales inflamables.
13. Si los materiales (ácido, álcali, removedor de pintura, o revestimientos de conversión) se derraman en equipos y/o herramientas, tratar inmediatamente de enjuagar con agua limpia, si es posible, ácidos neutralizantes con bicarbonato de sodio y álcali con una solución débil (5 por ciento) de ácido acético Ácido en agua.

14. En lugares cerrados, no utilice disolventes con un punto de inflamación bajo, (por debajo de 100 ° F), tal como metiletilcetona (MEK) y acetona.
15. Todo el equipo debe limpiarse después de que se haya completado el trabajo.
16. Compruebe y siga todas las restricciones aplicables y requisitos sobre el uso de disolventes, primers.
17. Compruebe y siga todas las restricciones aplicables y requisitos de uso y eliminación de residuos.

### **2.4.2 Blasting**

Las siguientes precauciones deben tomarse cuando se utilice cualquier equipo de este tipo:

- a) Los operadores deberían estar protegidos con la cara completa y cubierta la cabeza, equipamiento, y con un respirando de aire.
- b) Esterilizar los equipos de blasting.
- c) Pequeñas virutas de magnesio pueden encenderse fácilmente y son un extremo peligro. Los fuegos de este metal deben ser extinguidos con talco absolutamente seco, carbonato de calcio, arena o grafito aplicando el polvo a una profundidad de 1/2 pulgada sobre el metal.
- d) Aleaciones de titanio y alta resistencias al acero crean chispas durante el uso del equipo de blasting; por lo que se debe tener cuidado para asegurar que concentraciones peligrosas de vapores inflamables no existan (FAA, 2001).

### **2.5 Técnicas básicas de eliminación de la corrosión**

Cuando la corrosión se encuentra activa se requiere un programa de inspección necesario para evitar cualquier deterioro adicional. Los siguientes métodos de evaluación de daños por corrosión y procedimientos de reelaboración de las áreas corroídas podrían ser utilizados durante programas de limpieza. En general, cualquier reelaboración de limpieza y desmontaje de todo el acabado de la zona corroída, la eliminación de la

corrosión y restauración de los productos de una película de protección (FAA, 2001).

- a) Reparación de daños por corrosión incluye la eliminación de todos los productos de corrosión cuando el daño por corrosión es severo y excede los límites de daño establecidos por la aeronave o el fabricante de piezas, la pieza debe ser reemplazada.
- b) Si la información del fabricante y no se encuentran, entonces debe ser inspeccionado antes de devolver la aeronave al servicio (FAA, 2001).

### **2.5.1 Preparativos para reelaborar**

Todos los productos que pueden ser contaminados de corrosión deben ser removidos completamente cuando se reelaboran estructuras corroídas; antes de comenzar la reelaboración de las siguientes áreas:

- a) Documentar daños por corrosión.
- b) Coloque el avión en un lugar para el lavado o proporcionar un aparato de lavado para enjuagar rápidamente todas las superficies.
- c) Conecte una línea estática de tierra al avión a un punto de puesta a tierra.
- d) Prepare la aeronave para un mantenimiento seguro en tierra.
  - 1. Retire la batería del contenedor del generador de oxígeno líquido (si está instalado), y el suministro externo hidráulico y eléctrico.
  - 2. Instale todos los pin de seguridad, banderas y barras aplicables.
- e) Proteger las entradas de pitot estático, airscoops, entrada del motor, ruedas, neumáticos, paneles de piel de magnesio y el interior del avión de humedad y agentes blanqueadores químicos.
- f) Proteger las superficies adyacentes a la reelaboración de decapantes químicos, agentes de remoción y materiales de tratamiento de superficie (FAA, 2001).

### **2.5.2 Extracción de la corrosión por blasting**

El chorro abrasivo es un proceso para la limpieza o acabado de metales ferrosos dirigiendo una corriente de partículas abrasivas contra la superficie de las piezas. El chorro abrasivo es utilizado para la eliminación de óxido y corrosión; para la limpieza antes de pintar o dar protección. Las prácticas estándar de limpieza por chorro deben ser adoptadas (FAA, 2001)

- a) La pieza a ser limpiada previamente debe ser retirada de la aeronave, si es posible. De otra manera, las áreas adyacentes a la parte deben ser enmascarados o protegidos contra impactos abrasivos, evitando que se contamine los sistemas (hidráulico, aceite, combustible, etc.).
- b) Las piezas deben estar secas y libres de aceite, grasa o suciedad, antes de la limpieza por blasting.
- c) Superficies de tolerancia cercana, como cojinetes y árboles de cojinetes, deben ser enmascarado.
- d) Limpiar con el blasting solo lo suficiente para eliminar el revestimiento de la corrosión. Posterior se debe proceder inmediatamente con tratamientos en la superficie según sea necesario (FAA, 2001).

### **2.6 Limpieza de corrosión**

Antes de aplicar cualquier recubrimiento se debe asegurar la correcta limpieza de la superficie donde se trabaja, esto representa el 70% del éxito del método aplicado; por lo que es importante la limpieza antes de ser aplicado un recubrimiento de protección. La limpieza ayuda a la correcta adhesión del recubrimiento protector por lo se debe eliminar polvo, aceites, grasas, escamas de eliminación, oxido, humedad, pintura vieja, o cualquier contaminante presente en la superficie (FAA, 2001).

Existen varios métodos de preparación de superficies y la selección del mismo es parte integral de las especificaciones de cualquier recubrimiento. La limpieza tiene la función de proveer un patrón de anclaje, mordentado o dentado que ayuda a la adherencia física por lo que incrementa el área de contacto del recubrimiento. Comercialmente se conocen tres tipos de

normas internacionales para la clasificación de los tipos de limpieza (FAA, 2001):

- Steel Structures Painting Council (SSPC)
- National Association of corrosion Engineers (NACE)
- Swedish Standar (SIS) (tesisuson, 2017)

### **2.6.1 Limpieza con solventes**

Este método es usado para remover aceites, grasas y contaminantes. El problema con este tipo de limpieza es que no se remueve el óxido, escamas de laminación o residuos de recubrimientos anteriores (tesisuson, 2017).

### **2.6.2 Limpieza con herramienta manual**

Este método es usado para remover aceites, grasas y contaminantes. Para este propósito son usadas lijas, cepillos de alambre, cinceles, etc. El problema con este tipo de limpieza es que no se remueve el óxido, escamas de laminación o residuos de recubrimientos anteriores y puede ser demasiado lento por lo que no es recomendable en grandes áreas (tesisuson, 2017).

### **2.6.3 Limpieza con herramienta de fuerza o mecánica**

Es usado de igual forma que la limpieza con herramienta manual, para remover aceites, grasas y contaminantes. Para este propósito se usan aparatos de fuerza eléctrica o neumática tales como cepillos rotatorios, esmeriles y lijadoras o herramientas de impacto. Aunque no son muy eficaces para remover óxido, escamas de laminación o residuos de recubrimientos anteriores fuertemente adheridos. Su uso lleva a la posibilidad de dejar superficie demasiado pulida por lo que el recubrimiento protector pudiera quedar mal adherido a la superficie. Se recomienda su uso solo en áreas pequeñas como soldaduras y bordes afilados (tesisuson, 2017).

#### **2.6.4 Limpieza de acero nuevo a la flama**

Este tipo de limpieza consiste en hacer pasar a gran velocidad un soplete de oxiacetileno de alta temperatura para desprender escamas de laminación y óxido con ayuda del diferencial de los coeficientes de dilatación. Por el grado de especialización la limpieza de acero a la flama es escasamente usada (tesisuson, 2017).

#### **2.6.5 Limpieza con abrasivo a metal blanco**

La limpieza con acabado a “Metal Blanco” se lleva a cabo cuando se somete a una superficie a un chorro de material abrasivo a alta presión (Sand Blast), este sistema es de los más usuales a la hora de preparar grandes superficies debido a su velocidad, costo, eficacia y por qué el mismo sistema al ser aplicado proporciona cierta rugosidad en la superficie a lo que se llama perfil de anclaje, mismo que ayuda en la adherencia entre el sustrato y el recubrimiento (tesisuson, 2017).

Para diferenciar este tipo de limpieza con los otros que también se usan el mismo procedimiento se ayuda con las características y acabado de la superficie después de hacer la limpieza a metal blanco que proporciona una superficie de color gris claro y uniforme, la superficie deberá quedar libre de escama de laminación, salpicaduras de soldadura, grasas, aceite, pinturas o de cualquier material extraño. El tono del acabado dependerá del abrasivo utilizado (tesisuson, 2017).

#### **2.6.6 Limpieza con abrasivo grado comercial**

Se lleva a cabo cuando se somete una superficie a un chorro de metal abrasivo a alta presión (Sand Blast), es el mismo tipo de trabajo que el anterior pero la diferencia es que el grado de limpieza es a 2/3 del otro acabado; con este procedimiento se remueve grasas, aceites, óxido, escamas de laminación y pintura vieja, pero el acabado presenta ligeras manchas, vetas o decoloraciones, si la superficie presenta picaduras se

podrá encontrar en el fondo de las mismas, ligeros residuos de óxido y pintura (tesisuson, 2017).

### **2.6.7 Limpieza con abrasivo a ráfaga**

Se lleva acabo cuando se somete una superficie a un chorro de material abrasivo a alta presión (Sand Blast), es el mismo que el anterior; pero en este caso se quita todas las manchas sueltas o flojas, pero no las escamas de laminación y oxido firmemente adheridos (tesisuson, 2017).

### **2.6.8 Limpieza con ácido o decapado**

Este tipo de limpieza se usa objetos pequeños que puedan ser sumergidos en tanques con una solución acida. Por lo en general se usa una solución de ácido sulfúrico al 10% y a un temperaturas de 80°C, con este baño se logra la remoción de óxido, escamas de laminación, aceites y grasas, para después proceder a un lavado con agua caliente. Para evitar la posterior corrosión antes de aplicar el recubrimiento se recomienda otro baño con una solución de ácido fosfórico al 5% (tesisuson, 2017).

### **2.6.9 Limpieza con abrasivo cercano a metal blanco**

Se lleva acabo cuando se somete una superficie a un chorro abrasivo de material a alta presión (Sand Blast), es el mismo que el anterior; pero la diferencia es que el grado de limpieza es al 95% de limpieza y a un 5% de área promedio se puede apreciar vetas o decoloraciones de óxido. Los diversos métodos de limpieza varían en el costo y el resultado final obtenido. La selección de cada método dependerá por el tamaño, situación, tiempo, rugosidad, forma, textura requerida.

Es mejor la eliminación inicial de impurezas y de las escamas sueltas, más largas será la vida del recubrimientos; así mismo, mientras mayor sea la severidad del ambiente de trabajo se requiere una mayor preparación y limpieza, y en ambientes que son menos severos, se puede permitir un trabajo menos completo (tesisuson, 2017).

## 2.7 Sandblasting

### 2.7.1 Descripción

El proceso de blasting de superficies, a través de la utilización de materiales abrasivos (Abrasive blasting), tuvo su inicio hace más de 100 años, cuando en 1870, Tilghman descubrió y patentó el principio de limpieza con chorro de arena (INDISA, 2017). La palabra sand blast proviene de los vocablos en inglés sand que significa arena, y blast que significa presión, por lo cual el término hace relación a la técnica llamada “arena a presión” sin embargo este sistema no emplea necesariamente arena para su funcionamiento pues puede utilizar diversos abrasivos a presión (QUIMINET, 2017).

Inicialmente, el sand blasting se hacía en campo abierto, o en ambientes confinados sin sistemas de ventilación apropiados. Este sistema consiste en la limpieza de una superficie por la acción de un abrasivo granulado expulsado por aire comprimido a través de una boquilla. La limpieza con sand blast es ampliamente usada para remover óxido, escama de laminación y cualquier tipo de recubrimiento de las superficies preparándolas para la aplicación de un recubrimiento (INDISA, 2017).

Esta técnica se utiliza principalmente en la construcción naval, la industria automotriz, aviación y otros procesos que impliquen preparación superficial y pintura. Los materiales en los que se puede aplicar el sand blast son (QUIMINET, 2017):

- Vidrio;
- Mármol;
- Losa;
- Loseta;

- Azulejo;
- Acrílico;
- Madera;
- Acero al carbón e inoxidable;
- Fierro;
- Cerámica;
- Aluminio;
- Bronce;
- Cobre;
- Concreto;

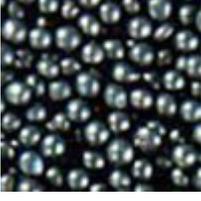
### **2.7.2 Tipos de abrasivos utilizados en el sand blast**

Dentro de los abrasivos más frecuentemente empleados en este sistema encontramos (QUIMINET, 2017):

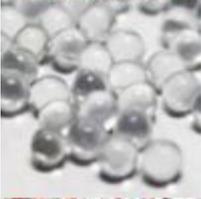
- Arena silícica;
- Óxido de aluminio;
- Carburo de silicio;
- Bicarbonato de sodio;
- Granate;
- Escoria de cobre;
- Perla de vidrio;
- Abrasivo plástico;
- Granalla de acero;
- Olote de maíz;
- Cáscara de nuez;

Tabla 1

## Comparación de materiales abrasivos utilizados para blasting

Fotografía ilustrativa	Material	Tamaño	Forma	Densidad lb/ft <sup>3</sup>	Grado dureza (Mohs)	Fragilidad	Fuente	Aplicaciones típicas
	Arena silícica	6-270	Angular y Esférica	100	5-6	Alta	Natural	Operaciones de granallado en exteriores
	Escoria de carbón	8-80	Angular	85-112	7-7,5	Alta	Sub-productos	Exteriores, limpieza, lijado
	Granalla de acero	10-325	Angular	230	8	Baja	Manufacturado	Operaciones de granallado a gran escala
	Esférica	8-200	Esférica	280	8	Baja	Manufacturado	Se usa en limpieza y alivio de tensiones, pulido de superficies

CONTINUA 

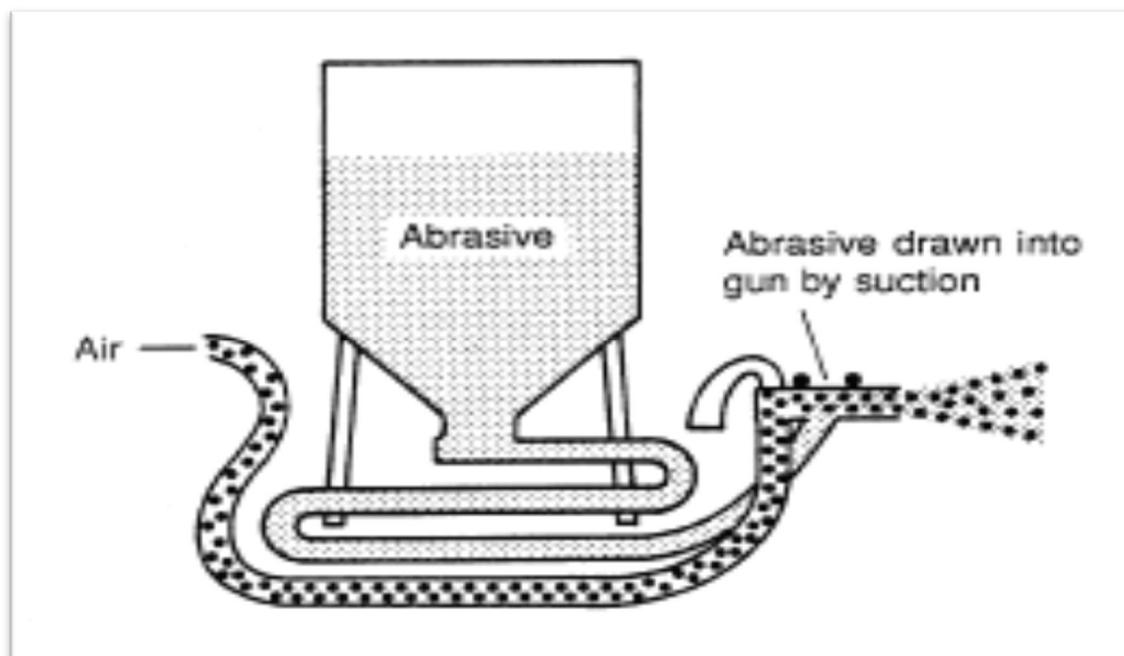
	Óxido de aluminio	12-325	Angular	125	8-9+	Media	Manufacturado	Limpieza, acabados y desbarbado
	Micro-esfera de cristal	10-400	Esférica	85-90	5,5	Media	Manufacturado	Limpieza, acabados
	Abrasivo Plástico	12-80	Angular	45-60	9-4	Baja/Media	Manufacturado	Despintado, limpieza, franjado
	Almidón	12-50	Angular	90	2,8-3	Alta	Sub-productos	Despintado, limpieza, franjado
	Trozos de maíz	8-40	Angular	35-45	2-4,5	Media	Sub-productos	Despintado de superficies delicadas

Fuente: (COLUMBEC, 2017)

### 2.7.3 Equipos

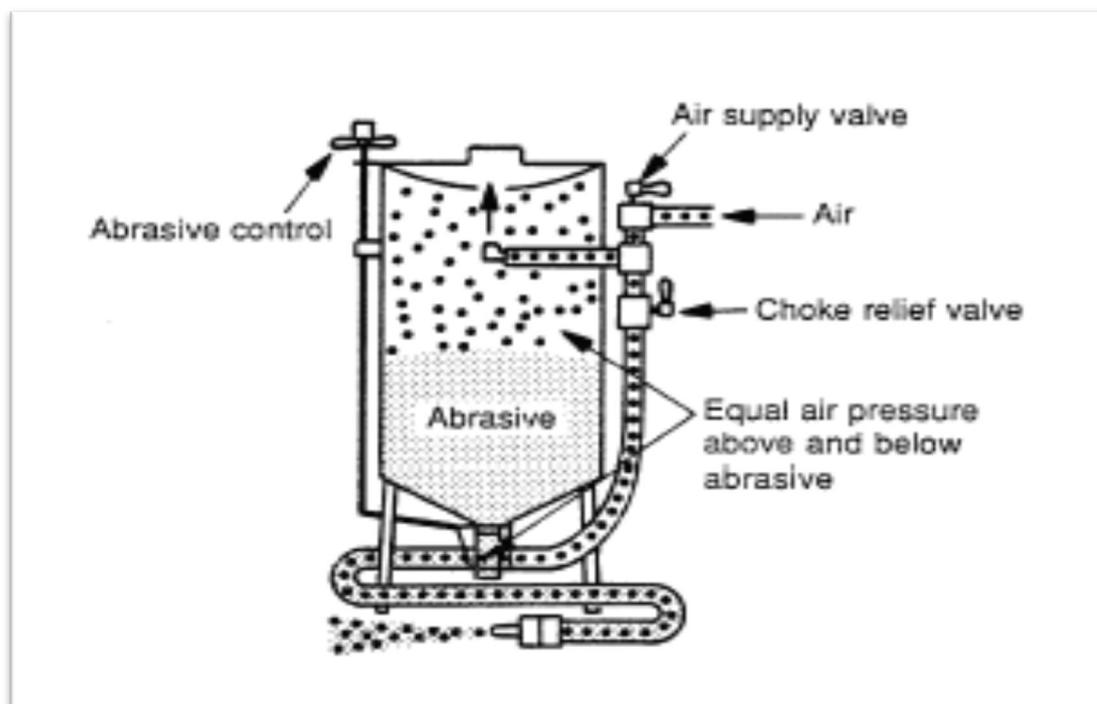
Los equipos blasting usualmente se componen de un contenedor de abrasivo, un dispositivo de propulsión y boquillas para expulsar el abrasivo. El equipo específico a utilizar depende de la aplicación (INDISA, 2017). Existen dos tipos de equipos para sand blasting, de succión y de presión

- **Equipos de succión.-** Un sistema de succión, llamado también Venturi, arrastra el abrasivo desde un contenedor no presurizado a la cámara de una pistola, para luego expulsarlo por la boquilla. Este tipo de equipos se usa en cabinas y para trabajo liviano, como retoques en materiales blandos, como aluminio, titanio y magnesio; para quitar rebabas y escamas, sin penetrar el metal base (INDISA, 2017).



**Figura 12:** Equipos de succión  
**Fuente:** (INDISA, 2017)

- **Equipos de presión.-** Los equipos de presión alimentan el abrasivo, por medio de una válvula reguladora, a una corriente de aire comprimido en movimiento. El aire y el abrasivo viajan a través de una manguera a alta presión y velocidad. Se utilizan para acero estructural por su alta velocidad de producción, menor consumo de aire y porque generan acabados más uniformes que los de succión (INDISA, 2017).



**Figura 13:** Equipos de presión  
**Fuente:** (INDISA, 2017)

#### 2.7.4 Tipos de abrasivos

Un abrasivo para blasting debe limpiar con rapidez y eficiencia, tener buena durabilidad, desgastar el mínimo posible los componentes internos del equipo y producir el nivel de acabado deseado, al menor costo posible (INDISA, 2017). Existen diversos tipos de abrasivos metálicos y no metálicos, muchos de los cuales pueden ser utilizados en una misma aplicación, sin embargo, cada cual presentan propiedades específicas que pueden ser ventajosas o no para cada caso (INDISA, 2017). La arena es el abrasivo más usado para este proceso. Otros materiales que se utilizan

son: escoria de carbón y de fundición, minerales, metales y sintéticos (INDISA, 2017).

La arena de sílice se utiliza comúnmente para aplicaciones donde no es posible recuperar el material abrasivo, como en operaciones al aire libre. La arena es quebradiza y puede dar lugar a la generación de polvo. Las escorias del carbón y de fundición se utilizan comúnmente en astilleros; tienen bajo contenido de sílice, pero liberan otros contaminantes (HAP: Hazardous Air pollutants) (INDISA, 2017).

Entre los abrasivos metálicos se incluyen: balines hierro fundido, arena de hierro fundido y balines de acero. Los balines de acero no son tan duros como los de hierro fundido, pero son mucho más durables. Los abrasivos sintéticos, como carburo de silicio y óxido de aluminio, se han convertido en substitutos populares para la arena; estos son más durables y generan menos polvo que la arena. Entre otros abrasivos se encuentran los minerales (granate, olivino, y estaurolita), plástico cortado, granos de vidrio, cristal triturado y cáscaras de nuez. Estos, al igual que los metálicos y sintéticos, se pueden recuperar y reutilizar. Los abrasivos minerales crean menos polvo que la arena y las escorias (INDISA, 2017).

### **2.7.5 Aplicaciones**

Las aplicaciones del sandblasting se pueden clasificar en tres grandes categorías: preparación de superficies, limpieza y acabado de superficies y "shot peening". En la preparación de superficies se utiliza para remover material no deseado y dejar la superficie lista para un revestimiento o para adherir otro material. En estructuras de acero se puede remover pintura, óxido y otros contaminantes. La mayoría de fabricantes de pinturas especifican el grado de la superficie para asegurar la perfecta adherencia de sus productos (INDISA, 2017).

En construcción se utiliza para preparar superficies para que acepten adecuadamente sellantes y pintura. En paneles de concreto pre-forzado, se utiliza para remover residuos de cemento, marcas y decoloraciones. Es posible quitar cascarillas de pintura en la madera; en botes de fibra de

vidrio se puede remover la cascarilla exterior y revelar las burbujas de aire. En aluminio, titanio, magnesio y otros metales remueve la corrosión.

La limpieza y acabado de superficies se diferencian de la preparación de superficies en que el resultado esperado es mejorar la apariencia y utilidad del producto en lugar de acondicionarlo para un revestimiento. La limpieza de superficies incluye una remoción de contaminantes y óxidos resultantes de su manufactura. El acabado de superficies incluye la remoción de rebabas y mejorar aspectos visuales de piezas moldeadas (INDISA, 2017).

Para elaborar un producto o componente metálico, los fabricantes deben fundir, cortar, doblar, estampar, rolar o soldar los metales para producir la forma deseada. Algunas veces estos procesos dejan tensiones residuales que, si no se remueven, pueden causar fallas cuando el material se somete a un esfuerzo.

El "shot peening" incrementa la fuerza y durabilidad de componentes sometidos a altos esfuerzos, bombardeando la superficie con medios esféricos a alta velocidad, incluyendo balines de acero, balines de cerámica, granos de vidrio y otros medios esféricos. Este "bombardeo" crea una superficie uniformemente comprimida, propagando las fuerzas de tensión sobre un área mayor y dejando la superficie menos propensa a fallar (INDISA, 2017).

### **2.7.6 Especificaciones para la preparación de superficies**

Los fabricantes de pintura reconocen que el éxito de sus productos se debe en gran parte a una buena preparación de la superficie. Una limpieza inadecuada puede causar una falla prematura del recubrimiento; por esta razón, recomiendan estándares de preparación de las superficies donde se van a aplicar sus productos, dependiendo de el de rugosidad y el grado de limpieza.

Las partículas del abrasivo pican el acero y forman diminutas crestas y valles, que definen el perfil de rugosidad de la superficie, y su profundidad está determinado por el tamaño y la dureza del abrasivo, la presión del aire

y la distancia y ángulo de la boquilla hacia la superficie. El perfil se expresa en milésimas, micrones o milímetros (INDISA, 2017).

### **2.7.7 Usos y aplicaciones del sand blasting**

Entre los usos y aplicaciones más comunes del sand blasting se encuentran (QUIMINET, 2017):

1. Dar acabados en madera, acero, resina y plástico;
2. Limpieza de muros de ladrillo y piedra;
3. Remoción de grafitis;
4. Limpieza de estructuras metálicas;
5. Preparación de materiales para aplicación de recubrimientos;
6. Remover oxidación e impurezas;
7. Quitar pintura y otros acabados;
8. Esmerilar vidrio y acrílico;
9. Matizar metales no ferrosos;
10. Pulir materiales opacos;
11. Limpiar moldes permanentes para fundición;
12. Retirar impurezas de soldadura;
13. Renovar partes para maquinaria, equipo y engranes;
14. Remover placas de concreto;

### **2.7.8 Beneficios de usar el sand blasting**

Dentro de los beneficios de utilizar el sand blasting se encuentran (QUIMINET, 2017):

- a) Optimiza resultados con mayor uniformidad
- b) Abarata costos en mano de obra
- c) Minimiza tiempos de trabajo
- d) Reduce tiempos de mantenimiento
- e) Obtiene mayor anclaje y adherencia de recubrimientos
- f) Consigue mayor pureza del material con un mínimo de esfuerzo

### **2.7.9 Seguridad del equipo de sand blasting**

La operación con equipos de sand blasting conlleva peligros para personal no entrenado o que no tenga el equipo de seguridad apropiado. Para prevenir enfermedades y daños, es esencial que el operador, y cualquier persona que esté en el área, usen: casco con un suministro constante de aire y lentes especiales, traje, botas y guantes. Un equipo de sand blasting produce poderosas corrientes de partículas agudas que, además de limpiar una superficie, crean nubes de polvo potencialmente tóxicas (INDISA, 2017).

Entre los principales riesgos del sand blasting se pueden mencionar: aire comprimido a alta presión, un abrasivo impulsado por aire desde la boquilla, impurezas en el aire, polvo tóxico del abrasivo y recubrimientos, alto ruido de la boquilla y el compresor (INDISA, 2017). La eficiencia de una operación de blasting depende de la combinación entre la práctica de procedimientos operacionales adecuados, de la realización de mantenimientos periódicos cuidadosos y de la correcta selección del abrasivo.

Para que todo del proceso de blasting se mantenga trabajando dentro de los patrones de calidad, productividad y costos adecuados, se recomienda que la elaboración de un programa de mantenimiento periódico para todos los principales componentes del equipo, y que se establezcan procedimientos que se cumplan por los operadores del equipo (INDISA, 2017).

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1 Preliminares**

El Ala de Combate Nro. 23 y su Escuadrón de Mantenimiento Nro. 2323 no cuenta con un equipo capaz de remover la corrosión que se presenta en los diferentes componentes, partes y productos aeronáuticos y no aeronáuticos de una manera rápida y eficaz para poder mantener una disponibilidad adecuada de los aviones de cuarta generación Super Tucano A-29B cuya finalidad es cumplir a cabalidad con la misión encomendada por el estado Ecuatoriano de resguardar y garantizar la soberanía sobre nuestro espacio aéreo, por ello es necesario la implementación de un equipo capaz de realizar esta tarea cuyo costo de operación y mantenimiento sea bajo y sobre todo que su funcionalidad sea confiable ahorrando tiempo, recursos materiales y económicos a la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

#### **3.2 Implementación del equipo portátil de sandblasting**

Una vez realizada una indagación superficial referente a los diferentes modos de remoción de la corrosión y de acuerdo a los manuales de mantenimiento preventivo del Avión Súper Tucano A-29B se pudo observar que una limpieza mecánica en base a un chorro a presión de arena proporciona excelentes resultados, y desde otro punto de vista se llegó a la conclusión que para la fabricación de un equipo capaz de realizar esta tarea no se requería de una gran inversión económica y se podía operar de forma eficiente aprovechando los recursos que el Ala de Combate Nro. 23.

### 3.3 Descripción del equipo

El sandblasting es un proceso frecuentemente utilizado para dar acabado o pulido a productos de fundición, remoción de pintura de superficies metálicas, generar grabados en vidrio y para propósitos artísticos entre otros. Se realiza utilizando un compresor de aire o vapor, dirigiendo una corriente a presión de un material abrasivo hacia la superficie de interés.

El material comúnmente utilizado para este proceso es la arena, en algunas ocasiones también se usa vidrio, puede ser llevada a cabo en lugares confinados o abiertos. Este proceso se caracteriza por generación de ruido, manejo de altas presiones y uno de los problemas más críticos, una alta concentración de material particularmente fino en el lugar de trabajo; ya que la arena se fractura en finas partículas las cuales son suspendidas en el aire formando nubes de polvo y pueden llegar a ser alojadas en los pulmones.

El Equipo Portátil de Sandblasting consiste en un cilindro metálico que cumple la función de alojar el material a ser utilizado como erosionador de la corrosión el cual es alimentado al sistema neumático por gravedad, el sistema neumático consta por cañerías, válvulas de corte manual, conectores de desconexión rápida, mangueras de presión, filtro de aire, regulador de presión neumática y una pistola de pulverización por arenado capaces de operar con 90 PSI que es la presión que se dispone en el hangar y hangaretas en donde se realizan las diferentes tareas de mantenimiento del avión Súper Tucano A-29B.

**PRECAUCIÓN:** Al momento de la fabricación de este equipo se deben cumplir con todas las normas de seguridad en el uso de las diferentes máquinas y herramientas necesarias para la construcción, ensamblaje y pruebas de funcionamiento de este equipo.

### 3.4 Herramientas a utilizar

Para llevar a cabo la construcción del equipo de Sandblasting se requiere varias herramientas que se detallan a continuación:

**Tabla 2**

**Lista de Herramientas**

Ítem	Herramienta	Codificación HM: Herramienta Eléctrica	Codificación HM: Herramienta Manual
01	Llaves Mixtas 1/4, 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 9/16 y 5/8.		HM1
02	Destornillador Plano y Estrella.		HM2
03	Escuadra		HM3
04	Flexómetro		HM4
05	Pinza de Puntas		HM5
06	Diagonal		HM6
07	Sierra		HM7
08	Lima		HM8
09	Playo		HM9
10	Compresor de Aire		HN10
11	Tornillo de Banco		HM11
12	Dobladora de Laminas		HM12
13	Amoladora	HE1	
14	Taladro	HE2	
15	Soldadora	HE3	
16	Electrodos	HE4	
17	Martillo	HE5	
18	Cortadora de Laminas	HE6	

### 3.5 Materiales necesarios

Como parte de la implementación de un equipo para la remoción de corrosión se requiere varios materiales los cuales deben estar acorde a las especificaciones necesarias con la finalidad de obtener un equipo que preste una funcionalidad adecuada con un bajo costo de mantenimiento y una alta productividad, entre los materiales seleccionados se enlistan a continuación:

**Tabla 3**

**Lista de Materiales**

Ítem	Descripción	Cantidad
01	Cilindro contenedor	01 EA
02	Cañería para presión de aire	03 m
03	Cañería para conducción de arena	03 m
04	Filtro de Aire	01 EA.
05	Manómetro de Presión 0-140 PSI	01 EA
06	Tubo de hierro de 2.5 cm.	01 EA
07	Angulo de hierro de 12.5 cm.	01 EA
08	Tubo galvanizado de 5 cm.	0.3 m
09	Lamina de Hierro Galvanizado	01 EA
10	Rueda de mixta	02 EA
11	Pernos acero 10cm. X 8cm.	02 EA
12	Angulo de Hierro 40cm.	0.5 m
13	Angulo de Hierro 30cm.	0.5 m
14	Neplo Galvanizado 10 cm X4cm	01 EA.
15	Tapón Galvanizado 5cm	01 EA.
16	Reductor Hembra Galvanizado de 5cm – 2.5 cm	01 EA
17	Reductor Macho Galvanizado de 2.5 cm – 1.5 cm	01 EA.
18	Neplo Galvanizado de 5cm X 3cm	04 EA
16	Llave de medio Giro 12.5cm	01 EA



17	Codo de 900 galvanizado 8cm	02 EA
18	Fitting de acero	04 EA
19	Reductor Hembra Galvanizado de 2.5cm – 1.5cm	02 EA
20	Unión macho de bronce de 4cm	01 EA
21	Abrazaderas galvanizadas 10cm	03 EA
22	Correas plásticas 15cm	04 EA
23	Pintura Amarillo Caterpillar	1.5 Lts
24	Diluyente de pintura	02 Lts
25	Removedor de pintura	01 Lt
25	Electrodos AGA 6011	02 Lbs.
26	Disco de corte	01 EA
27	Hoja de sierra para metal	01 EA
28	Teflón	01 RI
29	Lija	02 EA
30	Guaípe	04 Lbs

### 3.6 Equipos de protección personal para la construcción y uso del equipo

En el proceso de corte, soldadura, remoción de pintura, pintura, limpieza, ensamblaje de los diferentes componentes y accesorios del equipo que se implementó equipos de protección personal EPP para evitar lesiones al personal o daños a los materiales utilizados; los mismos que serán usados en el uso del equipo de sandblasting, a continuación se detalla un listado de los EPP utilizados durante el desarrollo de este proyecto:

#### Tabla 4

#### Lista de EPP

Ítem	Descripción	Cantidad
01	Overol de Trabajo	01 EA
02	Guantes de protección	03 m
03	Mascarilla para solventes	03 m
04	Calzado de seguridad	01 EA
05	Protectores Auditivos	01 EA

### 3.7 Construcción del equipo portátil de sandblasting

Para la construcción del equipo se utilizó un tanque metálico de forma cilíndrica perteneciente a un compresor de aire en mal estado, al cual se le quitó todas las estructuras que se encontraban soldadas a él.



**Figura 14:** Reservorio de arena

Con el cilindro libre de accesorios se realizaron cortes tanto en la parte superior como inferior del cilindro para poder ubicar los puntos de alimentación de arena y el punto de salida de la misma hacia el sistema neumático.



**Figura 15:** Perforación del cilindro reservorio

En el agujero realizado en la parte superior del cilindro se procedió a soldar un neplo de acero galvanizado de 5 cm. de largo y 5cm de diametro que servira como el punto de recarga del material utilizado como agente de limpieza (arena silicica o equivalentes).



**Figura 16:** Instalación del punto de recarga de arena

En el agujero realizado en la parte inferior se procedio a soldar un reductor de acero galvanizado de 5cm. a 3.8cm de diametro que servira como el punto de salida del material utilizado como agente de limpieza (arena silicica o equivalentes) hacia el sistema neumático.



**Figura 17:** Instalación del punto de salida de arena

Adicionalmente se realiza la inspección visual del tanque reservorio para constatar el estado físico del mismo; y con esto evitar futuras complicaciones de operación del equipo.



**Figura 18:** Inspección de contenedor

Se procedió a doblar un tubo de acero de 2 cm de diámetro para la construcción del soporte del equipo el mismo que tiene una altura de 100 cm para ser acoplado por medio de soldadura a una base de 40cm por 43 cm del mismo material.



**Figura 19:** Construcción del soporte del equipo

Posteriormente con el soporte ensamblado se soldó dos ejes roscados en los costados posteriores que sirven como base para la instalación de las ruedas de caucho que serán utilizadas como medio de movilización del equipo.



**Figura 20:** Instalación de los ejes y ruedas de transporte

Se utilizó una platina de acero de 14 cm de largo y 4 cm de ancho para sujetar el cilindro reservorio de arena a la estructura de soporte y transporte del equipo esto se realizó mediante soldadura de los componentes antes mencionados.



**Figura 21:** Sujeción del reservorio de arena a la estructura de soporte

Se unió por medio de soldadura eléctrica un niplo de hierro galvanizado de 1.2 cm de diámetro y 17 cm de longitud a la estructura de soporte del equipo para que sirva como base para la instalación del filtro de aire y parte del sistema neumático.



**Figura 22:** Acoplamiento del soporte para el filtro de aire

Se realizó un trazado y posteriormente la medición sobre una lámina aluminio para su respectivo corte y doblado como parte de la construcción

de una caja de almacenamiento de mangueras y accesorios del equipo la que a continuación será acoplada al soporte.



**Figura 23:** Elaboración de la caja de almacenamiento

Se procedió al ensamblaje de la caja de mangueras y accesorios EPP's con su tapa a través de una bisagra corrida de bronce mediante soldadura eléctrica se verifica la ubicación correcta de la bisagra y finalmente la apertura y cierre de la tapa.



**Figura 24:** Elaboración de la tapa de caja de almacenamiento

Se continuó con la instalación de la aldaba de seguridad sobre la caja de almacenamiento de mangueras y accesorios del equipo para a futuro precautelar los EEP'S a usarse.



**Figura 25:** Instalación de la aldaba de seguridad

Se realizó la preparación de la superficie de la estructura mecánica del equipo para el proceso de protección mediante pintura para lo cual se utilizó removedor de pintura, diluyente de pintura y lija para superficies metálicas.



**Figura 26:** Preparación de la superficie mecánica del equipo para el proceso de pintura

Seguidamente se instaló la caja de almacenamiento de mangueras y accesorios del EPP'S sobre el soporte principal mediante soldadura eléctrica se tuvo mucha precaución para evitar realizar orificios en la lámina metálica de la caja a causa de la mala aplicación de los procedimientos de soldadura.



**Figura 27:** Instalación de la caja de almacenamiento de accesorios sobre el soporte principal del equipo

Se prosiguió con el proceso de pintura de la parte mecánica del equipo portátil de sandblasting a través de la aplicación de un compresor de aire eléctrico, los porcentajes de pintura y diluyente fueron de 3 a 1 respectivamente de acuerdo a las instrucciones del fabricante de estos materiales.



**Figura 28:** Proceso de pintura de la parte mecánica del equipo

Se continuó a la instalación y ensamblaje del conjunto de filtrado de aire para su posterior montaje en la estructura del equipo, aquí se procede a colocar el manómetro de presión que tiene un rango de 0 – 140 PSI, en el case del filtro el cual también aloja a un regulador de presión se requiere adicionalmente acoples y reductores para poder conectar el subministro de aire desde una fuente externa este proceso se realiza mediante la aplicación de herramientas convencionales como la llave inglesa y teflón para garantizar que no exista fuga de aire en las uniones de los accesorios.



**Figura 29:** Ensamblaje del conjunto de filtrado de aire

Con el conjunto de filtrado de aire ensamblado se debe revisar que todos sus componentes se encuentren posicionados correctamente puesto que esta sección se acoplara sobre mencionado equipo.



**Figura 30:** Verificación de ensamblaje del conjunto de filtrado de aire

Seguidamente se continuó con la instalación del filtro de aire sobre la estructura del equipo, este procedimiento debe realizarse cuidadosamente para evitar dañar el manómetro de presión cuyo rango es de 0 a 140 PSI y el regulador de presión que se encuentran acoplados al mismo, este proceso se lleva a cabo mediante la aplicación de herramientas

convencionales como la llave inglesa de 2" y teflón para garantizar que no exista fuga de aire en las uniones de los accesorios.



**Figura 31:** Instalación del filtro de aire en la estructura del equipo

Se procedió al ensamblaje de los accesorios que comprenden el punto de suministro de material de arenado para el proceso de sandblasting ubicado en la parte inferior del cilindro contenedor de arena.



**Figura 32:** Ensamblaje de accesorios inferiores del cilindro contenedor de arena

Consecuentemente se instaló de los accesorios que comprenden el punto de suministro de material de arenado para el proceso de sandblasting ubicado en la parte inferior del cilindro contenedor de arena, finalmente con ayuda de una llave inglesa de 2" se continua a dar el ajuste necesario para asegurar el montaje y evitar algún tipo de mal funcionamiento del equipo.



**Figura 33:** Montaje de accesorios inferiores del cilindro contenedor de arena

Se realizó la conexión de la pistola de succión de arena a sus respectivas cañerías mediante el acople de uniones, fittings y abrazaderas que no permitirán el desacople de las mismas.



**Figura 34:** Conexión de la pistola de succión a sus respectivas cañerías

Conjuntamente con el paso anterior se prosiguió al acoplamiento del conjunto de la pistola y cañerías de succión de arena hacia la salida del filtro de aire y la salida del conjunto de accesorios que alimentan de arena al equipo, esta tarea se debe evitar que las cañerías sufran torceduras y queden completamente libres de obstáculos que puedan interferir con el normal flujo de aire y arena por ellas.



**Figura 35:** Acoplamiento del conjunto de la pistola y cañerías de succión al equipo

Una vez finalizada la construcción, ensamblaje, conexión de los diferentes componentes que forman parte del equipo se aprecia que se tiene un 90% de avance en el desarrollo del proyecto.



**Figura 36:** Vista del conjunto Mecánico y Neumático instalados

Se procedió a colocar la señalética en el equipo portátil de sandblasting.



Figura 37: Nombre del equipo



Figura 38: EPP's de uso obligatorio para el uso del equipo



Figura 39: Precaución de presión de operación



**Figura 40:** Precaución de material de llenado



**Figura 41:** Dirección del tapón

### **3.8 Chequeo funcional del equipo de sandblasting**

#### **Tabla 5**

**Total de pruebas del equipo**

No DE PRUEBA	NOVEDADES	PRESION USADA	Material de llenado	MATERIAL APRUEBA
01	En la primera prueba que se realizó se contempló algunas fallas con la presión debido a que se requirió más presión.	60 PSI	Arena fina de río	Lámina de aluminio corroída
02	En esta prueba se utilizó más presión pero se observó que el material de llenado no cubría con las expectativas de eficacia del equipo	90 PSI	Arena fina de río	Angulo de hierro con pintura
03	Con todas las novedades antes mencionadas; corregidas, se obtuvo los resultados deseados y el equipo funciona al 100%	100 PSI	Arena fina volcánica	Productos clase tres corroídos y con notable cantidad de pintura en mal estado

### 3.9 Implementación de dos manuales de operación y mantenimiento del equipo

Los manuales de operación sirven para que los operadores logren utilizar sin ningún inconveniente y sin un adoctrinamiento básico el equipo portátil de sandblasting. Adicionalmente cuentan con diferentes precauciones que debe estar consiente el operador y con ello los EPP's que debe usar.

	<b>MANUAL</b>	<b>PAG.: 1 DE 6</b>
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>CODIGO: MOP-001</b>
	<b>ELABORADOR POR: LESLY VARGAS TERAN</b>	<b>REVISION: No 1</b>
	<b>APROBADO POR: ING. RODRIGO BAUTISTA</b>	<b>FECHA: 2017</b>

**1.- OBJETIVO:**

Establecer los procedimientos de operación del Equipo de Sandblasting empleado para la remoción de corrosión en componentes aeronáuticos y no aeronáuticos.

**2.- ALCANCE:**

Mantener una secuencia de operación para que el personal técnico que requiera operar este equipo lo realice de una forma óptima, guardando todas las medidas de seguridad para precautelas el talento humano y los recursos materiales de la institución.

**3.- PROCEDIMIENTO:**

**a.** Utilizar todos los EPP necesarios durante todo el tiempo que se opere el equipo.



**b.** Antes de utilizar el equipo realizar una inspección visual general, verificando conexiones neumáticas, estado de la estructura en busca de cualquier daño que pueda afectar su operación.



	<b>MANUAL</b>	<b>PAG.: 2 DE 6</b>
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>CODIGO: MOP-001</b>
	<b>ELABORADOR POR: LESLY VARGAS TERAN</b>	<b>REVISION: No 1</b>
	<b>APROBADO POR: ING. RODRIGO BAUTISTA</b>	<b>FECHA: 2017</b>
<p>c. Verificar que se encuentre cargado el cilindro contenedor de arena con un mínimo del 10 libras caso contrario suministrar este material antes de iniciar los trabajos.</p>		
		
<p>d. Extienda completamente las cañerías del equipo y evite que se doblen u obstruyan con algún objeto corto punzante.</p>		
		
<p>e. Comprobar que la válvula de medio giro ubicada en la parte inferior del cilindro se encuentre en la posición de abierta.</p>		
		

	<b>MANUAL</b>	<b>PAG.: 3 DE 6</b>
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>CODIGO: MOP-001</b>
	<b>ELABORADOR POR: LESLY VARGAS TERAN</b>	<b>REVISION: No 1</b>
	<b>APROBADO POR: ING. RODRIGO BAUTISTA</b>	<b>FECHA: 2017</b>

f. Conectar la cañería de conexión de aire entre el compresor neumático y el fitting de



g. Colocar la válvula de paso de presión de aire del compresor en la posición abierta.



h. Verificar que el manómetro de presión ubicado sobre el filtro de aire marque entre 60 - 100 PSI.



	<b>MANUAL</b>	<b>PAG.: 4 DE 6</b>
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>CODIGO: MOP-001</b>
	<b>ELABORADOR POR:</b> <b>LESLY VARGAS TERAN</b>	<b>REVISION: No 1</b>
	<b>APROBADO POR:</b> <b>ING. RODRIGO BAUTISTA</b>	<b>FECHA: 2017</b>
<p>i. Ubique el componente a ser tratado en un área despejada cuidando de no estar frente al equipo.</p>		
		
<p>j. Tome la pistola de succión y accione el gatillo evitando dirigir el flujo de aire y arena hacia el equipo, personas u otros objetos que se encuentren cercanos al área de trabajo.</p>		
		
<p>k. Dirija el flujo de aire directamente sobre el área que se desea limpiar realizando un movimiento de abanico de aproximadamente 45 grados.</p>		
		

	<b>MANUAL</b>	<b>PAG.: 5 DE 6</b>
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>CODIGO: MOP-001</b>
	<b>ELABORADOR POR: LESLY VARGAS TERAN</b>	<b>REVISION: No 1</b>
	<b>APROBADO POR: ING. RODRIGO BAUTISTA</b>	<b>FECHA: 2017</b>
<p>I. Una vez finalizada la tarea coloque la válvula de paso de presión de aire del compresor en la posición cerrada.</p>		
		
<p>m. Alivie la presión remanente en el sistema presionando el gatillo de la pistola de succión y verifique que el manómetro de presión marque 0 PSI.</p>		
		
<p>n. Desacople la cañería de conexión de aire entre el compresor neumático y el fitting de entrada de aire del equipo.</p>		
		

	<b>MANUAL</b>	<b>PAG.: 6 DE 6</b>
	<b>MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>CODIGO: MOP-001</b>
	<b>ELABORADOR POR: LESLY VARGAS TERAN</b>	<b>REVISION: No 1</b>
	<b>APROBADO POR: ING. RODRIGO BAUTISTA</b>	<b>FECHA: 2017</b>

o. Ubique las cañerías del equipo en su soporte ubicado en el lado derecho superior del cilindro contenedor.



p. Drene el filtro de aire y almacene el equipo en un lugar seguro resguardado de los rayos de sol y la humedad

**PRECAUCIONES**

- a. Use arenas silíceas o similares evitando que este húmeda o sea demasiado gruesa para no obstruir las cañerías.
- b. No sobrepase los 100 PSI de presión de aire la misma que se puede controlar con el regulador de presión ubicado en la parte superior del filtro.
- a. Periódicamente durante trabajos prolongados limpie el área para evitar caídas debido a la acumulación de arena.
- b. Cada 30 minutos de operación del equipo haga un receso de cinco minutos para que las partículas de polvo que se suspendan en el ambiente se dispersen.
- c. Nunca opere el equipo sin los accesorios de protección personal.
- d. Llene el registro de operación del equipo de Sandblasting Anexo D y manténgalo junto al equipo.


	<b>MANUAL</b>	<b>PAG.: 1 DE 2</b>
	<b>MANUAL DE MANTENIMIENTO</b>	<b>CODIGO: MM-001</b>
	<b>ELABORADOR POR: LESLY VARGAS TERAN</b>	<b>REVISION: No 1</b>
	<b>APROBADO POR: ING. RODRIGO BAUTISTA</b>	<b>FECHA: 2017</b>
<b>1.- OBJETIVO:</b>		
Establecer los procedimientos de mantenimiento del Equipo de Sandblasting y mantener un registro actualizado de los mismos.		
<b>2.- ALCANCE:</b>		
Mantener en una condición de servible y extender al máximo la vida útil de los diferentes componentes del equipo de Sandblasting.		
<b>3.- DEFINICIONES:</b>		
<b>Mantenimiento:</b> son todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.		
<b>4.- MANTENIMIENTO MENSUAL:</b>		
En vista que este equipo va a operar en la ciudad de Manta que es un área costera y cuyo ambiente contiene porcentajes elevados de humedad y salinidad se recomienda realizar un procedimiento de mantenimiento mensual.		
<b>5.- PROCEDIMIENTO:</b>		
a. Realizar una inspección visual general, verificando conexiones neumáticas, estado de la estructura en busca de cualquier daño que pueda afectar su operación.		
b. Verificar que la condición de las cañerías sea óptima, no se encuentren perforaciones, dobleces, indicios de desgaste por fricción.		
c. Cañerías que se encuentren rotas o deterioradas en más del 40% deben ser reemplazadas inmediatamente.		
d. Desacople los componentes de la parte inferior del cilindro contenedor verificando el estado de los mismos y vacíelo completamente.		
e. Pulverice con jabón inhibidor de corrosión el interior del tanque y séquelo con un flujo de aire a presión moderada.		
f. Ensamble nuevamente a su configuración inicial los componentes de la parte inferior del cilindro contenedor.		
g. Remueva el elemento filtrante del conjunto de filtro verifique su condición y reemplácelo de ser necesario.		
h. Lubrique los ejes de las ruedas de transporte con grasa liviana.		



### 3.10 Análisis económico

Se muestra un estudio de todos los gastos realizados durante el proceso de la “Limpieza de corrosión en productos aeronáuticos metálicos mediante la implementación de un equipo portátil de sandblasting, para la sección de estructuras del Ala de Combate Nro. 23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana” y se desarrolla un detalle de los gastos realizados, mediante el que se especifica: costos primarios, secundarios que a continuación se observa.

**Tabla 6**

#### Total de costos primarios

Ítem	Descripción	Cantidad	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
01	Cilindro contenedor	01 EA.	\$150,00	\$150,00
02	Cañería para presión de aire	03 mt.	\$5,00	\$15,00
03	Cañería para conducción de arena	03 mt.	\$5,00	\$15,00
04	Filtro de Aire	01 EA.	\$85,00	\$85,00
05	Manómetro de Presión 0-140 PSI	01 EA.	\$45,00	\$45,00
06	Tubo de hierro de 2.54mm.	01 EA.	\$15,00	\$15,00
07	Angulo de hierro de 12.5mm.	01EA.	\$2,00	\$2,00
08	Tubo galvanizado de 12.5mm.	0.3 mt.	\$50,00	\$5,00
09	Lamina de Hierro Galvanizado	01EA.	\$25,00	\$25,00
10	Rueda de 2" mixta	02 EA.	\$15,00	\$30,00
11	Pernos acero 10mm. X 80mm.	02 EA.	\$20,00	\$40,00
12	Angulo de Hierro 40mm.	0.5 mt.	\$5,00	\$2,50
13	Angulo de Hierro 10mm.	0.5 mt.	\$4.00	\$2.00
14	Neplo Galvanizado 100mm X40mm	01 EA.	\$1.00	\$1.00



CONTINUA

15	Tapón Galvanizado 40mm	01 EA.	\$7.50	\$7.50
16	Reductor Hembra Galvanizado de 50mm – 25 mm	01 EA	\$2.00	\$2.00
17	Reductor Macho Galvanizado de 25mm – 12.5 mm	01 EA.	\$2.00	\$2.00
18	Neplo Galvanizado de 12.5mm X 30mm	04 EA.	\$1.00	\$4.00
16	Llave de medio Giro 12.5mm	01 EA.	\$35.50	\$35.50
17	Codo de 90 <sup>0</sup> galvanizado 12.5mm	02 EA.	\$1.00	\$1.00
18	Fitting de acero	04 EA.	\$15.75	\$63.00
19	Reductor Hembra Galvanizado de 12.5mm – 08mm	02 EA.	\$2.00	\$2.00
20	Unión macho de bronce de 08mm	01 EA.	\$2.00	\$2.00
21	Abrazaderas galvanizadas 15mm	03 EA.	\$0.75	\$2.25
22	Correas plásticas 50mm	04 EA.	\$0.60	\$2.40
23	Pintura Amarillo Caterpillar	1.5 lts.	\$18.85	\$28.27
24	Diluyente de pintura	02 Lts.	\$7.20	\$14.40
25	Removedor de pintura	01 Lt.	\$25.10	\$25.10
25	Electrodos AGA 6011	02 Lbs.	\$6.50	\$13.00
26	Disco de corte	01 EA.	\$2.50	\$2.50
27	Hoja de sierra para metal	01 EA.	\$2.20	\$2.20
28	Teflón	01 RI.	\$2.50	\$2.50
29	Lija	02EA.	\$2.00	\$2.00
30	Guaípe	04 Lbs.	\$3.00	\$12.00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$429.50</b>

Tabla 7

## Total de costos secundarios

Ítem	Descripción	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
01	Empastado	\$50,00	\$50,00
02	Anillados	\$2,00	\$12,00
03	Impresiones/Copias	\$10.00	\$60.00
04	Alimentación	\$2,50	\$75,00
05	Transporte	\$1.25	\$25,00
06	Otros	\$50,00	\$100,00
		<b>Subtotal</b>	<b>\$262,00</b>

Tabla 8

## Total de costos del proyecto

Ítem	Descripción	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
01	Costos primarios	\$429.50	\$429.50
02	Costos secundarios	\$262,00	\$262,00
		<b>Total costos proyecto</b>	<b>\$691.50</b>

## CAPÍTULO IV

### CONCUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- La implementación del equipo de sandblasting permitió ejecutar la limpieza de corrosión en productos aeronáuticos metálicos, para la sección de estructuras del ala de combate Nro. 23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, con lo que se logró satisfacer las necesidades laborales y facilitar los trabajos que se desempeñen los técnicos de dicha sección;
- Se recopiló y clasificó los patrones de calidad, productividad y costos adecuados;
- Se adquirió herramienta y equipos necesarios para la ejecución de la limpieza de estructuras de acero para remover pintura, óxido y otros contaminantes de corrosión;
- Se realizó el proceso de limpieza de corrosión de productos aeronáuticos metálicos y se proporcionó un acabado de superficies en el que incluye la remoción de rebabas y mejora de aspectos visuales.

#### 4.2 Recomendaciones

- Se aconseja la realización de mantenimientos periódicos cuidadosos del equipo y de la correcta selección del abrasivo.
- La operación con equipos de sandblasting conlleva peligros para personal no entrenado o que no se encuentre familiarizado con información acerca del equipo.
- El operador debe utilizar el equipo de seguridad apropiado. Para prevenir enfermedades y daños, es esencial que el operador, y cualquier persona que esté en el área, usen: casco, lentes especiales, traje, botas y guantes.

- Un equipo de sandblasting produce poderosas corrientes de partículas agudas que, además de limpiar una superficie, crean nubes de polvo potencialmente tóxicas.
- Tomar medidas de precaución por los principales riesgos que el equipo tiene y se puede mencionar: aire comprimido a alta presión, un abrasivo impulsado por aire desde la boquilla, impurezas en el aire, polvo tóxico del abrasivo y recubrimientos, alto ruido de la boquilla y el compresor.
- Es conveniente la elaboración de un programa de mantenimiento periódico para todos los principales componentes del equipo, y que se establezcan procedimientos que se cumplan por los operadores del equipo

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- aventics. (2017). recuperado el 02 de 03 de 2017, de [http://www.aventics.com/media/\\_processed\\_/schlaeuche3-8-2015-ib\\_620d4ac5d2.jpg](http://www.aventics.com/media/_processed_/schlaeuche3-8-2015-ib_620d4ac5d2.jpg)
- alex. (2017). <http://www.alex.es/>.
- areatecnologia. (2017). <http://www.areatecnologia.com/herramientas/el-taladro.html>.
- arkigrafico. (2017). <http://www.arkigrafico.com/usos-del-aluminio-como-material-de-construccion/>.
- barfield. (16 de septiembre de 2014). *user instruction manual barfield m/n 2311fa*. obtenido de [www.barfieldinc.com](http://www.barfieldinc.com)
- bricotodo. (2017). <http://www.bricotodo.com/serrar.htm>.
- coferval. (2017). [http://coferval.com/codo\\_reducido\\_galvanizado](http://coferval.com/codo_reducido_galvanizado).
- columbec. (2017). <http://www.columbec.com/comparacion-de-abrasivos>.
- compresores. (2017). [http://www.elchapista.com/compresores\\_taller\\_chapa\\_pintura.html](http://www.elchapista.com/compresores_taller_chapa_pintura.html).
- creus, a. (2011). *instrumentación industrial*. méxico: algaomega.
- diccionario. (2017). <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/abrazadera-definicion-significado/gmx-niv15-con14.htm>.
- directindustry. (2017). [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/16269-4239913.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/16269-4239913.jpg).
- ecured. (2017). [https://www.ecured.cu/tornillo\\_de\\_banco](https://www.ecured.cu/tornillo_de_banco).
- faa. (septiembre de 2001). manual. *ac 43.13-1b chg1*.
- ferrecatalogo. (2017). [http://www.ferrecatalogo.com/images/maquinaria/dobladoras\\_cortina\\_curvac\\_eagle-1500.jpg](http://www.ferrecatalogo.com/images/maquinaria/dobladoras_cortina_curvac_eagle-1500.jpg).
- fuerzaaerea. (2017). *fuerza aerea ecuatoriana*. recuperado el nov de 2016, de [http://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec/site/index.php?option=com\\_content&view=category&id=79](http://www.fuerzaaereaecuadoriana.mil.ec/site/index.php?option=com_content&view=category&id=79)

- grados, o. (2017). <https://www.0grados.com/soldadura-metodos-y-fundamentos/>.
- herramientasexpress. (s.f.). <http://www.herramientasexpress.com/284-456-large/llave-de-tubo-stanley.jpg>.
- indisa. (2017). <http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/12.htm>.
- industrial. (2017).  
[http://www.dis.uia.mx/taller\\_industrial/blog/?grid\\_products=tijeras-para-lamina-corte-recto](http://www.dis.uia.mx/taller_industrial/blog/?grid_products=tijeras-para-lamina-corte-recto).
- industria, s. e. (2017).  
<https://soldaduraenlaindustria.wikispaces.com/la+soldadura>.
- lexicoon. (2017). <http://lexicoon.org/es/bisagra>.
- marcelocassani. (2017).  
<https://marcelocassani.wordpress.com/2012/08/31/tanques-de-aire-comprimido/>.
- materials), a. i. (1996). corrosion 5è, vol. 13. en  
[https://es.wikipedia.org/wiki/corrosion\\_5è,\\_vol.\\_13\\_de\\_asm\\_handbook](https://es.wikipedia.org/wiki/corrosion_5è,_vol._13_de_asm_handbook). asm handbook.
- morales, t. g. (2013). *proteccion de superficies*. españa: ediciones paraninfo.
- oleohidráulica, d. d. (2017). recuperado el 02 de 03 de 2017, de  
<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/neumatica-y-oleohidraulica/trasparencias/tuberiasneumaticas.pdf>
- quiminet. (2017). <https://www.quiminet.com/articulos/el-proceso-del-sand-blast-o-chorro-de-arena-2668536.htm>.
- sissgob. (2017). <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-8618.html>.
- soldadura, t. (2017). <http://tuberaiysoldadura.blogspot.com/2008/02/los-codos-los-codos-son-accesorios-de.html>.
- tallertecnologia. (2017).  
[http://www.iesmarenostrum.com/departamentos/tecnologia/taller\\_tec/accesible/apretar/llave\\_tubo.htm](http://www.iesmarenostrum.com/departamentos/tecnologia/taller_tec/accesible/apretar/llave_tubo.htm).
- tareas, b. (2017). <http://www.buenastareas.com/materias/mangueras-neumaticas/0>.
- tecnologuaherr. (2016).  
[http://www.iesbajoaragon.com/~tecnologia/herr/her\\_suj.htm](http://www.iesbajoaragon.com/~tecnologia/herr/her_suj.htm).

tesisuson. (2017).

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11596/capitulo7.pdf>.

tiendagoni. (2017). [https://www.tiendagoni.com/detalles\\_pistola-para-sandblast,518,49,11.htm](https://www.tiendagoni.com/detalles_pistola-para-sandblast,518,49,11.htm).

trevisa. (2017).

<http://www.trevisa.com.mx/100+pdf/pdf2aceroal%20carbon/niples%20de%20acero.pdf>.

tubo. (2017). <http://definicion.de/tubo/>.

utecsa. (2017). <http://www.utecsa.cl/portfolio/fittings/>.

vargas. (2016). vargas s.a. obtenido de [http://www.vargas-sa.com.mx/activacionsite\\_subs2.cfm?cid=5&scid=19&session=00258afe-905b-377c-ec2c4d2cda1843e6](http://www.vargas-sa.com.mx/activacionsite_subs2.cfm?cid=5&scid=19&session=00258afe-905b-377c-ec2c4d2cda1843e6)

# ANEXOS

