

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y  
APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS PARA LA ESTRUCTURA METALICA  
PRODUCIDA POR LA EMPRESA JARCO S.A.

WILSON ADOLFO VARGAS JIMENEZ

Cód. 200820850

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

SOGAMOSO

2017

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y  
APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS PARA LA ESTRUCTURA METALICA  
PRODUCIDA POR LA EMPRESA JARCO S.A.

WILSON ADOLFO VARGAS JIMENEZ

Cód. 200820850

MODALIDAD: MONOGRAFIA

Trabajo presentado para optar al  
Título de Ingeniero Industrial

DIRECTOR

ING. HUGO FELIPE SALAZAR

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

SOGAMOSO

2017

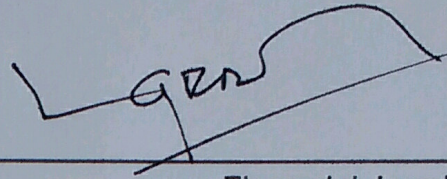
NOTA DE ACEPTACIÓN

---

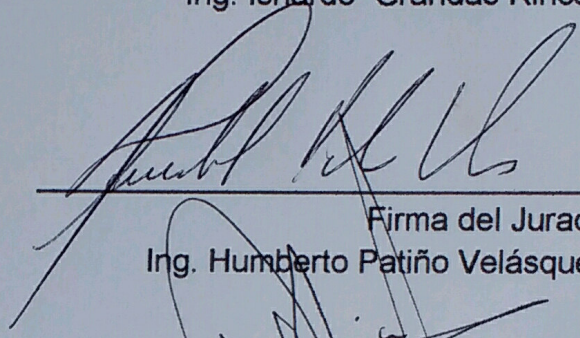
---

---

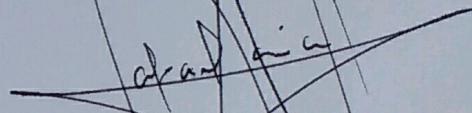
---



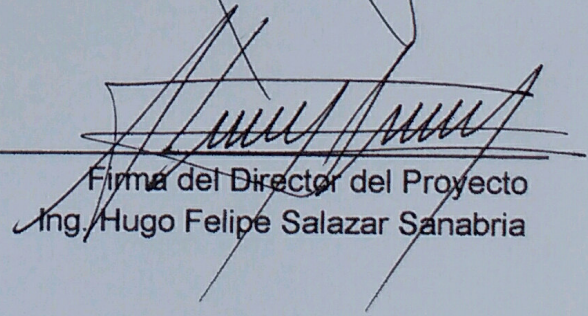
Firma del Jurado  
Ing. Isnardo Grandas Rincón



Firma del Jurado  
Ing. Humberto Patiño Velásquez



Presidente del jurado  
Ing. Rafael Guillermo García Cáceres



Firma del Director del Proyecto  
Ing. Hugo Felipe Salazar Sanabria

Sogamoso, 31 de Mayo de 2017.

## **Dedicatoria**

*A DIOS y a la virgen de Chiquinquirá, por ser mis guías espirituales y darme la fortaleza en cada paso dado en el transcurso de mi vida.*

*A mis Padres, por su ejemplo, orientación y por su gran esfuerzo para que todos sus hijos estudiaran una carrera universitaria o técnica.*

*A Heidi y Danna por ser el motor para alcanzar cada meta y sueño que me he propuesto.*

*A mis hermanos, por su apoyo incondicional en las buenas y en las malas.*

## **Agradecimientos**

*A mi familia por su apoyo compañía y cariño y especialmente a mis padres por toda su orientación y cuidados durante toda mi vida.*

*A todos y cada uno de mis compañeros por permitirme ser su amigo y por compartir conmigo momentos que fueron especiales para todos.*

*A la empresa Jarco SA y al Ing. Guillermo Pedraza por su apoyo y por permitirme desarrollar mi trabajo de grado.*

*A la Universidad, por formarme académica.*

*Al Profesor Hugo Felipe Salazar por compartir conmigo todo su conocimiento y guiarme en el desarrollo de mi trabajo.*

## Tabla de contenido

Introducción .....	11
1. Planteamiento del problema .....	12
1.1 Descripción del problema.....	12
1.2 Formulación del problema .....	13
2. Objetivos.....	13
2.1 Objetivo general .....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. Justificación .....	14
4. Alcance .....	16
5. Marco de referencia .....	17
5.1 Marco histórico .....	17
5.1.1. Misión.....	18
5.1.2. Visión.....	18
5.2 Marco geográfico .....	19
5.2.1. Administrativa. ....	19
5.2.2 Planta de fabricación. ....	20
5.3 Marco teórico .....	21
5.3.1 Enfoque basado en procesos.....	21
5.3.2 Limpieza. ....	22
5.3.3. Recubrimiento. ....	26
5.3.4. Six sigma. ....	27
5.4 Marco legal.....	28
5.5. Glosario .....	30
6. Metodología.....	33
6.1 Tipo de investigación .....	33
6.2 Fuentes de la información .....	33

6.2.1 Primarias.....	33
6.2.3 Secundarias.....	33
6.3 Proceso metodológico.....	34
7. Descripción del proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento de la estructura metálica en JARCO SA.....	36
8. Identificación del problema y medición de variables.....	46
9. Análisis del proceso actual y comparativo entre métodos de limpieza y tipos de recubrimiento empleados en la estructura metálica.....	52
9.1. Análisis proceso actual.....	52
9.2. Comparativo entre tipos de limpieza y de recubrimientos.....	57
9.2.1. Limpieza.....	57
10. Propuesta de mejoramiento para el proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento de la estructura metálica para JARCO SA.....	65
11. Formatos y medidas de control para el mejoramiento del proceso.....	84
11.1. Formatos.....	84
11.2. Otras medidas de control.....	88
Conclusiones.....	89
Recomendaciones.....	90
Referencias.....	91
ANEXOS.....	94

## Figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación oficina de JARCO SA.....	20
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la planta de producción .....	21
<b>Figura 3.</b> La organización .....	22
<b>Figura 4.</b> Cepillo de alambre rotatorio.....	25
<b>Figura 5.</b> Disco abrasivo y de lijadora .....	26
<b>Figura 6.</b> Descripción del proceso actual de fabricación de estructura metálica, JARCO SA... ..	36
<b>Figura 7.</b> Materia prima. ....	37
<b>Figura 8.</b> Montacargas .....	37
<b>Figura 9.</b> Corte de material. ....	38
<b>Figura 10.</b> Estructuras pre armadas.....	38
<b>Figura 11.</b> Verificación de medidas.....	39
<b>Figura 12.</b> Soldadura de piezas. ....	39
<b>Figura 13.</b> Descripción del proceso actual de limpieza .....	40
<b>Figura 14.</b> Limpieza con herramienta mecánica. ....	41
<b>Figura 15.</b> Inspección visual. ....	41
<b>Figura 16.</b> Pruebas de líquidos penetrantes.. ....	42
<b>Figura 17.</b> Aplicación de recubrimiento a la estructura metálica. ....	42
<b>Figura 18.</b> Descripción del proceso actual de aplicación de recubrimiento en JARCO SA.....	43
<b>Figura 19.</b> Registro de las pruebas de adherencia.....	44
<b>Figura 20.</b> Estructura lista para ser instalada. ....	44
<b>Figura 21.</b> Fallas de la estructura metálica. ....	51
<b>Figura 22.</b> Diagrama casa- efecto, análisis de falta de limpieza de la estructura metálica.....	56
<b>Figura 23.</b> Diagrama causa-efecto, para el gastos excedido de recubrimiento aplicado a la estructura metálica. ....	57
<b>Figura 24.</b> Grados de oxidación.....	66
<b>Figura 25.</b> Descripción de la limpieza B, limpieza con solventes.. ....	68
<b>Figura 26.</b> Descripción de la limpieza C, limpieza con herramientas mecánicas.....	69
<b>Figura 27.</b> Descripción de la limpieza D, limpieza final para la estructura.....	72
<b>Figura 28.</b> Muestra de distintos grados de preparación de superficies .....	73
<b>Figura 29.</b> Ejemplo para determinar la cantidad de recubrimiento a aplicar. ....	75
<b>Figura 30.</b> Rendimiento típico según el equipo empleado para la aplicación de recubrimiento..	77
<b>Figura 31.</b> Galgas para medir el espesor de la pintura.....	77
<b>Figura 32.</b> Clasificación NTC 811, utilizada para determinar la adhesión de un sistema de recubrimiento sobre un substrato metálico. ....	78
<b>Figura 33.</b> Descripción del proceso de recubrimiento que se propone para la fabricación de estructura metálica. ....	80
<b>Figura 34.</b> Descripción del proceso de mejora para la fabricación de estructura metálica en JARCO SA. ....	81





## Tablas

<b>Tabla 1.</b> Detalle proceso actual de fabricación de estructura metálica en JARCO SA.....	45
<b>Tabla 2.</b> Información de proyectos con reprocesos.....	46
<b>Tabla 3.</b> Principales problemas que se presentan en la estructura metálica producida por JARCO SA. ....	47
<b>Tabla 4.</b> Análisis 5W+2h de las falla de re-cubrimiento de la estructura metálica.....	52
<b>Tabla 5.</b> Análisis 5 porqué, para las fallas de recubrimiento. ....	53
<b>Tabla 6.</b> Análisis 5W+2h para recubrimiento fuera de parámetros. ....	53
<b>Tabla 7.</b> Análisis 5 porqué para la presencia de recubrimiento fuera de parámetros. ....	54
<b>Tabla 8.</b> Análisis 5W+2h para la presencia de oxidación en la estructura metálica. ....	54
<b>Tabla 9.</b> Análisis 5 porqué para cuando hay presencia de oxidación en la estructura metálica. .	55
<b>Tabla 10.</b> Análisis 5W +2h para cuando existen impurezas en la estructura metálica. ....	55
<b>Tabla 11.</b> Análisis 5 porqué, para cuando existe impurezas en la estructura.....	56
<b>Tabla 12.</b> Grado de oxidación y perfil de anclaje, observación experimental 1. ....	58
<b>Tabla 13.</b> Grado de oxidación y limpieza obtenida con los diferentes discos, en 5 minutos.....	59
<b>Tabla 14.</b> Limpieza obtenida de acuerdo al número de pasadas con los discos. ....	60
<b>Tabla 15.</b> Relación costo beneficio. ....	61
<b>Tabla 16.</b> Calculo costo hora hombre. ....	62
<b>Tabla 17.</b> Comparación entres marcas de recubrimiento.....	63
<b>Tabla 18.</b> Relación de variables para recubrimiento en una estructura de 7000 m2.....	63
<b>Tabla 19.</b> Comparación entre recubrimiento Bleer y PPG.....	64
<b>Tabla 20.</b> Detalle proceso de mejora.....	81
<b>Tabla 21.</b> Formato denominado “reporte de inspección de limpieza” .....	84
<b>Tabla 22.</b> Formato denominado "reporte inspección de revestimiento" .....	86

## **Introducción**

Para las diferentes industrias que están en el mercado sin importar el tipo de actividad que realicen, una adecuada planeación es sin lugar a duda fundamental para la consecución de los objetivos y metas empresariales. En el caso de Jarco S.A., empresa presente en el mercado de estructura metálica, la planeación debe ser el punto de partida para el desarrollo de cada uno de sus procesos.

El proceso de fabricación de estructura metálica, sigue una serie de etapas, el éxito de este depende de la anticipada planeación y adecuada realización de las actividades en cada una de ellas hasta la correcta terminación del producto, con el fin de satisfacer a los clientes y contribuir a los resultados propuestos por la organización.

El anticiparse a los hechos, facilita enfrentar situaciones que pueden generar riesgos dentro de la industria a la que se pertenece, para el caso de la industria metálica, la corrosión entre otros, es un fenómeno al que el acero, materia prima, está expuesto y que de no estar controlado puede llegar a generar problemas, sobre todo en el acabo de las piezas; depende de una adecuada planeación y ejecución de tareas, garantizar la correcta preparación de las superficies, y así avalar que los productos terminados cumplan con los estándares requeridos y no deban ser reprocesados, más aun si ya han sido instalados.

En la fabricación de estructura metálica, la limpieza y preparación de las superficies juega un rol fundamental sobre todo para garantizar que al aplicar el recubrimiento no se presenten problemas de adherencia, porosidades, arrugas, corrosión, pues si existe una adecuada limpieza se garantiza que la pintura se conserve por un mayor periodo de tiempo.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción del problema**

JARCO S.A. es una organización dedicada al diseño, fabricación y montaje de estructura metálica de gran magnitud en acero, tales como cubiertas para centros comerciales, bodegas industriales, mezanine, campamentos móviles y obras civiles, uno de los principales retos a los que se enfrenta este tipo de organización es proteger la estructura y mitigar fenómenos como la corrosión. Según la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE), La Corrosión y el Control de la Corrosión, (2007) “la corrosión obedece al deterioro de un material, normalmente un metal debido a una reacción con su ambiente” (p.1). Realizar una adecuada limpieza de la estructura metálica es fundamental para garantizar que el producto final sea el esperado. En la actualidad el proceso de limpieza es realizado en piso antes de ser instalado, aunque no se hace de la manera más adecuada ya que en muchas ocasiones pese a aplicar el recubrimiento para proteger la superficie de la corrosión y prolongar la vida útil del material, es necesario hacer reprocesos en razón a que la limpieza es parcial y alcanzan a quedar residuos, afectando el acabado de la pintura.

Las inconformidades con el acabado de la pintura tales como: el bajo recubrimiento, porosidades, arrugas, corrosión y diferencias de tonalidad se perciben en muchas oportunidades cuando la estructura ya está montada, debiéndose realizar nuevamente tareas como gratear, limpiar, pulir y aplicar recubrimiento, actividades que se dificultan para ser ejecutadas en este punto, ya que se deben desarrollar en altura, esto implica incremento del riesgo laboral por la ejecución de este modo, mayores costos de mano de obra, materia prima, desgaste de herramientas,

costos por alquiler de andamios y maquinaria mecánica (grúas, plataformas de tijera manlift), aumento en la ejecución de tareas, multas por atraso en la entrega, entre otros inconvenientes.

El proceso para aplicar el recubrimiento a la estructura metálica no está estandarizado, no existen control respecto de la cantidad de pintura que se debe aplicar a cada pieza, en la actualidad los operarios aplican el recubrimiento de acuerdo a su criterio, lo que genera que en ciertas áreas la pintura aplicada sea mayor o menor respecto al requerimiento en cada proyecto, por lo que se hace necesario realizar reprocesos, que ocasionan demora en la entrega del producto al cliente, costos superiores, disminución en la productividad y afectación a la calidad del producto.

Actualmente el recubrimiento de la estructura fabricada por JARCO S.A. solo emplea un tipo de pintura, sin tener en cuenta otras opciones que existen en el mercado y que pueden generar un producto de mejor calidad para los clientes y beneficios para la empresa.

## **1.2 Formulación del problema**

Partiendo de la anterior descripción, se formula el problema de investigación: “¿Cómo se puede mejorar el proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento para la estructura metálica producida por JARCO S.A.?”.

## **2. Objetivos**

## **2.1 Objetivo general**

Diseñar propuesta para el mejoramiento del proceso de limpieza y aplicación de recubrimientos para la estructura metálica producida por la empresa JARCO S.A.

## **2.2 Objetivos específicos**

1. Describir el proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento de la estructura metálica en JARCO S.A.
2. Identificar el problema y medir variables del proceso mediante herramientas de ingeniería industrial.
3. Realizar análisis del proceso actual y formular comparativo entre tipos de limpieza y de recubrimiento empleados en la estructura metálica.
4. Elaborar propuesta para mejorar el proceso de limpieza y aplicación de recubrimientos en JARCO S.A.
5. Establecer formatos y controles para el proceso de limpieza y aplicación de recubrimientos.

## **3. Justificación**

Actualmente el mundo globalizado en el que vivimos exige el mejoramiento continuo en cada una de las industrias, se requiere de mayor tecnificación así como de optimización de los recursos disponibles para la realización de las actividades que conforman los procesos al interior de cada

organización. Las empresas de estructura metálica no son ajenas a esto, razón por la que se hace importante revisar y analizar para detectar falencias y virtudes de los procesos y luego proponer alternativas que permitan mejorar y maximizar el uso de los recursos a su disposición.

Otro aspecto importante es el control que se pueda ejercer dentro de los procesos, establecer los límites y reglas, pues el control es fundamental para garantizar el cumplimiento de los objetivos organizacionales, y mejora en los procesos.

La mejora en los procesos garantiza a las organizaciones aprovechar los recursos a su disposición, con esto se evitan sobrecostos que a futuro pueden representar una menor ganancia para las empresas.

El proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento para la estructura metálica fabricada por JARCO S.A es primordial para el cumplimiento de su objeto social, de ahí la importancia de establecer mejoras que garanticen hacer las cosas bien desde el inicio y evitar reprocesos que impliquen duplicar o triplicar labores por la realización de actividades adicionales en condiciones adversas como el trabajo en altura.

Con el desarrollo del proyecto se busca revisar y analizar el proceso de limpieza y recubrimiento de la estructura metálica producida por JARCO SA, para luego diseñar una propuesta de mejoramiento que le permita a la empresa generar valor agregado para los clientes, garantizar un producto destacado en el mercado, optimizar sus recursos y demás beneficios que se puedan presentar.

#### **4. Alcance**

Este proyecto contempla el diseño de una propuesta para el mejoramiento del proceso de limpieza y aplicación de recubrimientos para la estructura metálica producida por la empresa JARCO S.A.



## **5. Marco de referencia**

### **5.1 Marco histórico**

JARCO S.A., se define como:

Una empresa especializada en el diseño, fabricación y montaje de Estructuras Metálicas en acero, tiene más de 15 años de experiencia en el sector de la construcción. El principal objetivo es el de desarrollar proyectos de la mejor calidad, en estructuras metálicas para

edificios, bodegas industriales, centros comerciales, cubiertas, mezanines y componentes de uso general en obras civiles de infraestructura. Recuperado de <http://www.jarcosa.com/quienes-somos.html>, (2016).

Dentro del direccionamiento estratégico, JARCO S.A. define su razón de ser, el enfoque de la actividad que desarrolla, a través de la misión, que se cita a continuación:

**5.1.1. Misión.** Somos un excelente equipo humano con amplia experiencia en la industria de la construcción, ofreciendo una amplia gama de servicios en obras civiles, fabricación e instalación de estructuras metálicas, diseños estructurales arquitectónicos, hidráulicos, sanitarios y estudios de suelos, promoviendo en nuestro trabajo seguridad y calidad.

Nuestro énfasis es la satisfacción de nuestros clientes, por esta razón brindamos atención personalizada, proporcionamos rentabilidad, innovación y cumplimiento, contando con un excelente recurso humano calificado y nos apoyamos en una tecnología avanzada, logrando un beneficio satisfactorio para nuestros clientes, colaboradores y accionistas. Recuperado de <http://www.jarcosa.com/quienes-somos.html>, (2016).

Expuesto en la visión que se relaciona a continuación, JARCO SA proyecta como espera ser para el año 2017, la expectativa que tiene frente al mercado:

**5.1.2. Visión.** Ser la opción preferida en el año 2017 en el mercado de la construcción de obras civiles, fabricación e instalación de estructuras metálicas, diseños estructurales arquitectónicos, hidráulicos, sanitarios y estudios de suelos, alcanzando los más altos estándares de calidad y eficiencia tanto para el Cliente como para la misma Compañía en pro

de un bienestar común garantizando siempre un servicio eficiente y productivo. Recuperado de <http://www.jarcosa.com/quienes-somos.html>, (2016).

## 5.2 Marco geográfico

**5.2.1. Administrativa.** JARCO S.A., tiene ubicada su oficina principal, en donde se realizan actividades propias del área administrativa en la carrera 7 #156-86, edificio North Point torre III, oficina 1003 de la ciudad de Bogotá DC (ver Figura 1). La universidad distrital Francisco José de Caldas resalta algunas de las características de la ciudad:

Bogotá es la ciudad capital de la República de Colombia y se constituye en el principal centro geográfico, político, industrial, económico y cultural del país. Está ubicada a una altura de 2.630 metros sobre el nivel del mar, y tiene un área de 1587 Kms<sup>2</sup>, es sede del Gobierno y la más extensa de las ciudades de Colombia. Aquí se concentra el 17% de la población total de la nación (6.4 millones de habitantes), con la característica de poseer los más altos índices educativos.

Su condición de capital de la República ha hecho que se haya extendido cada vez más para dar cabida a los miles de habitantes provenientes de todos los rincones del país y a extranjeros que encuentran en la ciudad un buen clima, gente amable y amplias posibilidades de negocios. Recuperado en <https://www.udistrital.edu.co/universidad/colombia/bogota/caracteristicas/> (2017).



**Figura 1.** Ubicación oficina de JARCO SA. En esta imagen se muestra la ubicación del área administrativa de JARCO SA, en la ciudad de Bogotá. Fuente, <http://www.google.com/maps/>, (2017).

**5.2.2 Planta de fabricación.** La planta de producción de Jarco S.A. está ubicada en Madrid Cundinamarca km 2 vía Madrid – Puente Piedra parque industrial Santa Cruz bodega #33 (ver Figura 2). En este lugar se realizan trabajos propios de elaboración de estructura metálica.

Madrid es uno de los 116 municipios del departamento de Cundinamarca. “Madrid junto con los municipios de Bojacá, El Rosal, Facatativá, Funza, Mosquera, Sibaté, Soacha, Subachoque, Tabio y Tenjo, pertenece a una de las 11 provincias de Cundinamarca denominada Sabana de Occidente. Recuperado en [http://madrid-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://madrid-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml), (2017).



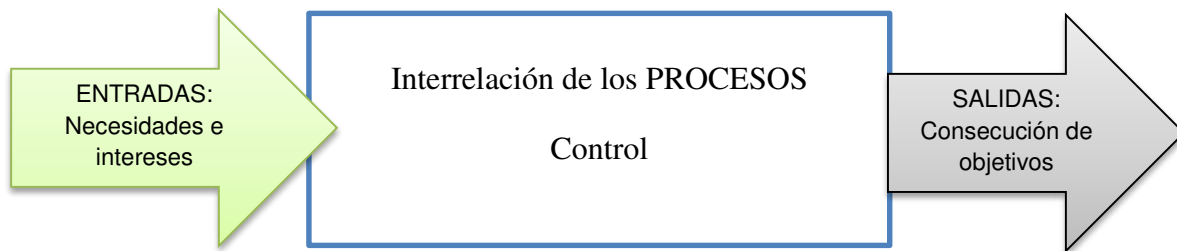
*Figura 2.* Ubicación de la planta de producción. La planta está ubicada en la ciudad de Madrid, la imagen fue recuperada en <https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Madrid+Cundinamarca>, (2017).

## 5.3 Marco teórico

**5.3.1 Enfoque basado en procesos.** “La gestión por procesos hace compatible las necesidades organizativas internas con la satisfacción de los terceros. El propósito es centrarse en lo crítico para generar valor ahora y en el futuro” (Pérez Fernando de Velasco J.A., 2009, p.16).

En las organizaciones es importante establecer una estructura que oriente a la empresa a la consecución de lo que se considera ideal, para lo que es fundamental conocer las necesidades e intereses para que luego de analizar las interrelaciones que se puedan dar, se llegue al resultado esperado a la consecución de los objetivos, de ahí la importancia de la gestión que se pueda dar por procesos y del control que se pueda establecer en estos.

Es importante que la organización busque la interrelación de sus procesos para garantizar que los objetivos se cumplan, la gestión y mejora que se puedan realizar en cada uno de ellos facilita la consecución de las metas organizacionales (ver Figura 3).



**Figura 3.** La organización. Como se muestra en la imagen la organización debe partir de unos intereses y necesidades para articular y controlar sus procesos en pro de la consecución de los objetivos organizacionales. Fuente, autor.

**5.3.2 Limpieza.** A continuación se muestran algunos métodos de limpieza de estructura metálica:

**5.3.2.1. Limpieza con solventes:** NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, (2007) “La limpieza con solventes es un método para eliminar todo el aceite, grasa y sucio visibles, así como compuestos de marcaje y de corte, y otros contaminantes solubles de las superficies de acero. Se cree que la limpieza con solventes está diseñada para usarse antes de la aplicación de la pintura y conjuntamente con métodos de preparación de la superficie especificados para la remoción de óxido, calamina o pintura” (p.28).

Dentro de este método encontramos: solventes orgánicos, limpiadores alcalinos, limpiadores ácidos y detergentes entre otros.

**5.3.2.2. Limpieza con herramientas manual.** La limpieza con herramientas manual es uno de los métodos más comunes.

NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, (2007) describe la “limpieza con herramientas manuales como el método utilizado para preparar las superficies de acero mediante instrumentos no motorizados. La limpieza con herramientas manuales elimina toda la calamina, óxido, pintura y otra materia perjudicial extraña” (p. 32). Las herramientas usadas en la limpieza manual incluyen:

- Cepillos de alambre
- Raspadores y espátulas
- Cinceles
- Cuchillos o espátulas
- Martillos y piquetas

Para la limpieza con herramientas manuales, se debería desarrollar el siguiente procedimiento:

-La superficie se debe inspeccionar para determinar su condición y la presencia de capas gruesas de óxido y detectar cualquier sustancia extraña, como aceite, grasa o polvo.

-Puede especificarse la limpieza con solvente/emulsiones, o puede requerirse la remoción de aceite, grasa o sucio. Las capas gruesas de óxido deben eliminarse con piquetas.

-La superficie se debe limpiar previamente con cualquiera de las herramientas manuales, luego inspeccionarse y posteriormente ser recubierta. El recubrimiento debería aplicarse

dentro del periodo de tiempo requerido por la especificación. (NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, 2007, p.33).

**5.3.2.3. Limpieza con herramientas mecánicas.** Es otro método de limpieza comúnmente utilizado, por las posibilidades que representan su uso.

La limpieza con herramientas mecánicas, es un método para preparar las superficies de acero usando herramientas de limpieza mecánica impulsadas por una fuente de poder. Estas herramientas son básicamente similares a las herramientas usadas para la limpieza manual, pero se emplea una fuente de poder como electricidad o aire comprimido. Este proceso puede eliminar la calamina suelta, óxido, pintura y otra materia extraña perjudicial, pero no está diseñado para remover calamina, óxido y pintura adheridos.

Este método también puede usarse para remover restos de soldadura, salpicaduras de soldadura y laminaciones y para alisar soldaduras rugosas y redondear muescas. (NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, 2007, p.35).

Las herramientas de poder comúnmente usadas se listan a continuación:

**1. Cepillo de alambre rotatorio.** Según NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, (2007) “el uso de cepillos de alambre rotatorios es menos deseable que otras formas de limpieza con herramientas de poder, (ver Figura 4) ya que el bruñido excesivo produce una superficie pulida, lo cual proporciona un pobre anclaje para la mayoría de los recubrimientos” (p.36).





**Figura 4.** Cepillo de alambre rotatorio. Herramienta mecánica empleada en la limpieza de estructuras. Fuente, NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, 2007, p.37.

**2. Herramientas de impacto:** Hacen parte de este grupo de herramientas las piquetas, las pistolas de aguja, los cinceles de pistón y los raspadores rotatorios.

**Piquetas:** se inserta un cincel en la herramienta de poder y el impacto de un pistón operado con aire o electricidad se transmite al cincel que a su vez impacta la superficie que se limpiará. Los cinceles pueden ser de formas y materiales diferentes. Los raspadores y los cinceles especiales pueden montarse adecuadamente en herramientas de impacto operadas neumáticamente o con electricidad. (NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, 2007, p. 37)

**Pistolas de aguja:** consiste en un número de varillas de acero endurecido que se hacen vibrar contra la superficie. La pistola de agujas es eficaz en las soldaduras, esquinas y las superficies irregulares.

**Cincel de pistón:** Los cinceles de pistón operan de una manera similar a las piquetas, pero el pistón también actúa como la herramienta de impacto. Estos vienen con uno, dos o tres pistones, también existen dispositivos grandes con hasta 15 pistones para usarse en superficies planas y horizontales, como cubiertas de acero. (NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, 2007, p. 38)

**Raspadores rotatorios:** Estas herramientas pueden usarse con ciertas ventajas en áreas grandes para remover óxido y laminaciones.

**3. Discos de corte, de abrasivos y lijadoras.** El perfil de anclaje producido por estos elementos (ver Figura 5) puede ser sumamente bueno, con una remoción completa de óxido y calamina. Sin embargo, estos métodos de limpieza son muy costosos para áreas grandes.



**Figura 5.** Disco abrasivo y de lijadora. Elementos utilizados con herramientas de poder para limpieza de estructuras. Fuente, NACE, Descripción General de la Preparación de la Superficie, 2007, p. 40.

**5.3.3. Recubrimiento.** NACE, Introducción a los Recubrimientos, (2007). “Los recubrimientos son materiales, transparentes o pigmentados, formadores de películas que protegen la superficie a la que se aplican de los efectos del ambiente” (p.1).

Los recubrimientos convencionales constan de dos componentes principales:

**1. Pigmento** es un sólido de partículas discretas que se usan para impartir una protección específica o cualidades decorativas al recubrimiento, no se disuelven. NACE, Introducción a los Recubrimientos, (2007), p. 2.

**2. Vehículo:** es la base líquida del recubrimiento que consiste de solvente, aglutinante y cualquier aditivo líquido requerido. NACE, Introducción a los Recubrimientos, (2007), p.3.

Según NACE, Introducción a los Recubrimientos, (2007), el recubrimiento proporciona protección al acero mediante uno o una combinación de tres mecanismos que producen los siguientes tres tipos de recubrimientos:

**Recubrimientos de sacrificio:** son ricos en zinc y cuando la superficie es maltratada o rayada, el zinc actúa como un ánodo de sacrificio y se corroe para proteger el acero.

**Recubrimientos de barrera:** mantienen la humedad lejos de la superficie del acero. Esto elimina uno de los elementos del ciclo de corrosión, el electrolito, evitando así la corrosión.

**Recubrimientos inhibidores:** además de actuar como barrera, ayudan activamente en el control de la corrosión, usando pigmentos que pueden proporcionar un efecto inhibidor (similar a los inhibidores de corrosión). (p. 10- 14).

**5.3.4. Six sigma.** Six Sigma es considerado como una evolución de las teorías clásicas de la calidad y la mejora continua. Six sigma propone un enfoque mejorado y con mayor efectividad en la consecución de resultados.

Jiménez H. y Amaya C. (2014) afirman que el éxito de Six sigma se basa en los siguientes aspectos:

- Se enfoca en los críticos de satisfacción del cliente (CTS);
- Se basa en la ejecución de proyectos de mejora;
- Hace uso intensivo de datos y herramientas estadísticas;
- Los resultados son medibles desde el punto operacional y financiero;
- Su efectividad en la consecución de resultados genera mayor compromiso de la gerencia y las personas;

- Los proyectos son desarrollados por personal capacitado en la metodología (cinturones negros, cinturones verdes o cinturones amarillos);
- Genera un cambio cultural orientado a la excelencia operacional.

Jiménez H. y Amaya C. (2014) “El Six Sigma es empleado como estrategia de negocios para aumentar su rentabilidad, mejorar la calidad de sus productos y servicios, llegando a mejorar su productividad y competitividad” (p. 264).

#### 5.4 Marco legal

**1. Normas SSPC (*Steel Structures Painting Council Pittsburgh USA*) Consejo de Pintura de Estructuras de Acero Pittsburgh Estados Unidos - SP01: Limpieza con solventes:** esta norma contempla la preparación de superficie o limpieza utilizando solventes, vapor de agua, soluciones alcalinas, emulsiones jabonosas, detergentes y/o solventes orgánicos para remover: aceite, grasa, polvo, sucio y compuestos de marcaje, así como otros compuestos orgánicos similares.

**2. SSPC (*Steel Structures Painting Council Pittsburgh USA*) Consejo de Pintura de Estructuras de Acero Pittsburgh Estados Unidos - SP 02: Limpieza con herramientas manuales:** cubre los requisitos para la realización de limpieza con herramienta manual (cepillos manuales, lijas, etc.) sobre superficies de acero, para eliminar impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes.

**3. SSPC (*Steel Structures Painting Council Pittsburgh USA*) Consejo de Pintura de Estructuras de Acero Pittsburgh Estados Unidos - SP 03: Limpieza con herramientas**

**mecánica:** esta norma establece los requisitos para la limpieza manual utilizando herramientas eléctricas o neumáticas, de las superficies de acero.

**4. NTC 811. Norma Técnica Colombiana, Método de ensayo para determinar la adhesión mediante el ensayo de cinta adhesiva:** comprende los procedimientos para evaluar la adhesión de las películas de recubrimiento a los sustratos metálicos aplicando y retirando cinta adhesiva sensible a la presión sobre cortes hechos en la película.

**5. NTC 3891. Norma Técnica Colombiana, Preparación de superficies metálicas. Limpieza con solventes:** cubre los procedimientos requeridos para la limpieza con solventes de superficies de acero estructural.

**6. NTC 3892. Norma Técnica Colombiana, Preparación de superficies metálicas. Limpieza con herramientas manuales:** cubre los procedimientos requeridos para la limpieza con utensilios manuales de las superficies de acero estructural.

**7. NTC 3893. Norma Técnica Colombiana, Preparación de superficies metálicas. Limpieza con herramienta eléctrica.** Brinda el procedimiento requerido para limpieza con herramientas eléctricas de superficies de acero.

**8. ISO 8501-1 (2007):** Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. **Parte 1: Grados de óxido y de preparación de sustratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores:** Identifica cuatro niveles (denominados grados de oxidación), que se encuentran normalmente en las superficies de acero no revestido y en las superficies de acero almacenadas.

**9. Normas Suecas SIS 055900 (SWEDISH STANDARDS INSTITUTION STOCKHOLM):** estas normas han establecido una escala para identificar los estados superficiales de corrosión del acero sin recubrir.

### **5.5. Glosario**

**Adherencia:** la adherencia del recubrimiento está más relacionada con el grado de descontaminación que con el grado de limpieza ya que cualquier grasa o impureza que presenta la estructura afectara la fusión entre la estructura y el recubrimiento en pocas palabras es que tan pegada queda una de la otra.

**Aditivo:** NACE, La Corrosión y el Control de la Corrosión, (2007) “son sustancias que se le agregan a los recubrimientos para mejorar el espesor de su película, ajustar la consistencia, mejorar la flexibilidad, retardar el moho, reducir la sedimentación, proporcionar propiedades anti-estáticas y proporcionar resistencia a la abrasión y al deslizamiento” (p. 20 y 21).

**Aglutinante:** se describe como la resina o una mezcla de resina que forman la película del recubrimiento.

**Airless:** “Es una máquina que pulveriza la pintura o recubrimiento por alta presión pero “sin aire”. Recuperado en <http://equiposairless.mx/>, (2017).

**Bruñido:** es un proceso de acabado con arranque de viruta en el que se emplea discos y abrasivo para la limpieza de las piezas.

**Calamina:** NACE, La Corrosión y el Control de la Corrosión, (2007) “se refiere a incrustaciones de laminación que se puede observar en la superficie del hierro y del acero nuevo

en la forma de capas azul-negras de óxido ferroso, algunas de las cuales son más duras que el metal de origen” (p, 8).

**Corrosión:** “La corrosión es un proceso espontáneo y continuo que afecta a materiales como el acero, se presenta como una serie de alteraciones físico químicas por la acción de agentes naturales”. Recuperado en <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/corrosion>, (2016).

**Conector:** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), NSR-10 – Capítulo F.1 “En un miembro de construcción compuesta, es un espigo con cabeza, perno, canal, platina u otro perfil soldado al perfil de acero y embebido en el concreto, para transmitir fuerzas entre los dos materiales” (p.F-6).

**Conexión:** UPTC, NSR-10 – Capítulo F.1 “Combinación de elementos de conexión, conectores y partes de los miembros conectados que intervienen en la transmisión de fuerzas entre dos o más miembros” (p. F-6).

**Desgaste abrasivo:** Gutiérrez W., Olaya J. y Torres M. (2015) “es generado por las partículas duras que se introducen entre dos superficies más blandas, que se deslizan o interactúan mutuamente” (p. 217).

**Destijere:** UPTC, NSR-10 – Capítulo F.1 “Corte ejecutado en un miembro estructural para remover una aleta y acomodarse a la forma de un miembro que lo intercepta” (p. F-7).

**Empalme:** UPTC, NSR-10 – Capítulo F.1 “Conexión entre dos elementos estructurales que se empatan en sus extremos para conformar un elemento de mayor longitud” (p. F-8).

**Ensayos no destructivos:** UPTC, NSR-10 – Capítulo F.1 “Procedimientos de inspección en los cuales no hay destrucción de material ni se afecta la integridad de ningún material o componente” (p. F-8).

**Gratear:** Ramón M., (2015) “limpieza superficial de piezas metálicas, mediante una herramienta denominada grata, se realiza en forma manual o mecánica” (p. 6).

**Mezzanine:** Real academia de la lengua española (RAE) “Piso situado entre la primera planta y la planta baja de un edificio”. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=P97FGQO>, (2016).

**Muecas:** malformaciones o desperfectos profundos de una pieza que dificultan la formación de una película continua de recubrimiento.

**Reactivación** es el proceso que se debe realizar para colocar en funcionamiento un recubrimiento que se aplicó con anterioridad y que a la hora de aplicar otra capa o un recubrimiento diferente encima garanticen su adherencia.

**Redondear:** se refiere a la actividad de pulir muecas y piezas filosas.

**Socavación:** UPTC, NSR-10 – Capítulo F.1 “Surco o cavidad relativamente suave en la superficie de una soldadura, originado en una deformación plástica o en la remoción de material” (p. F-14).

**Solvente:** es un compuesto químico que se mezcla con la pintura previamente a su aplicación, con el objetivo de variar la viscosidad, así como otras propiedades.



## **6. Metodología**

### **6.1 Tipo de investigación**

El tipo de estudio que se va a desarrollar es del tipo descriptivo pues se detallará y evaluará el proceso de limpieza, y aplicación de recubrimiento de la estructura metálica producida por la empresa JARCO S.A.

Esta investigación también es del tipo explicativa ya que partiendo de la descripción del proceso y del análisis que se realice se van a proponer mejoras en el proceso observando la relación causa efecto.

### **6.2 Fuentes de la información**

**6.2.1 Primarias.** La recolección principal de la información se hará mediante el trabajo directo en la organización, observación directa del proceso.

**6.2.3 Secundarias.** Las fuentes de información que se analizaran, validaran y utilizaran en este caso serán:

- Libros.
- Artículos procedentes de investigación afines al tema.
- Tesis afines con la temática planteada.
- Documentos de Internet relacionados con el tema.

### 6.3 Proceso metodológico

El desarrollo del trabajo se proyecta para cuatro meses aplicando la metodología SEIS SIGMA y su herramienta DMAIC de acuerdo a sus etapas, a su vez se emplearan herramientas de ingeniería industrial.

**Herramienta DMAIC.** La herramienta DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) por sus siglas en inglés, es una herramienta de la metodología Seis Sigma, utilizada para mejora de procesos ya existentes.

**1. Definir:** Esta fase parte de la descripción del problema, se muestran las causas que provocan las situaciones adversas, se establecen las expectativas respecto a las mejoras que se quieren ejecutar a lo largo del proyecto y quienes estarán a cargo de la situación de control como equipo de trabajo.

Para el desarrollo del trabajo se realizara:

- Definir el propósito, objetivos del proyecto.
- Descripción del proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento.

**2. Medir:** En esta etapa se definen los defectos, parte de entender la condición actual del proceso, para determinar cuáles son los elementos críticos que posteriormente serán analizados.

Se realizará:

- Medición del desempeño actual del proceso.
- Determinación de variables a medir.

**3. Analizar:** Se refiere a determinar las variables significativas. En esta etapa se identifican las causas potenciales del problema y se verifica la relación causa efecto. Las variables se deben confirmar para así determinar la incidencia de estas en el proceso, se evalúa la estabilidad y la

capacidad del proceso. Se emplean herramientas como el diagrama causa – efecto, diagrama de árbol, estratificación de datos, DOE (Diseño de experimentos), entre otros.

Para el proyecto se realizara:

- Determinar la causa raíz de los reprocesos y confirmarlos con datos, análisis 5w+2h y 5 porqué.
- Comparación entre métodos de limpieza y recubrimiento para identificar las oportunidades de mejora en el proceso.

**4. Mejorar:** El objetivo en esta parte del ciclo es optimizar y robustecer el proceso. En esta parte se implementan cambios para hacerle frente a las causas del problema, se prueba soluciones que deben ser validadas, para confirmar la solución, en esta fase se emplean herramientas como la lluvia de ideas, matriz de prioridades, pruebas piloto, etc.

Se realizará:

- Propuesta de mejora para el proceso de limpieza y recubrimiento.

**5. Controlar:** En esta última fase del ciclo el objetivo es controlar y efectuar un seguimiento del proceso para lograr que la mejora sea sostenida, se documenta, capacita para lograr mecanismos a prueba de error.

Para el desarrollo del trabajo se establecerá:

- Formatos y controles que garantice la mejora del proceso.

## 7. Descripción del proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento de la estructura metálica en JARCO SA

En la actualidad la fabricación de estructura metálica en JARCO S.A. sigue una serie de procesos, dentro de los cuales se encuentra la limpieza y el recubrimiento, (ver Figura 6).

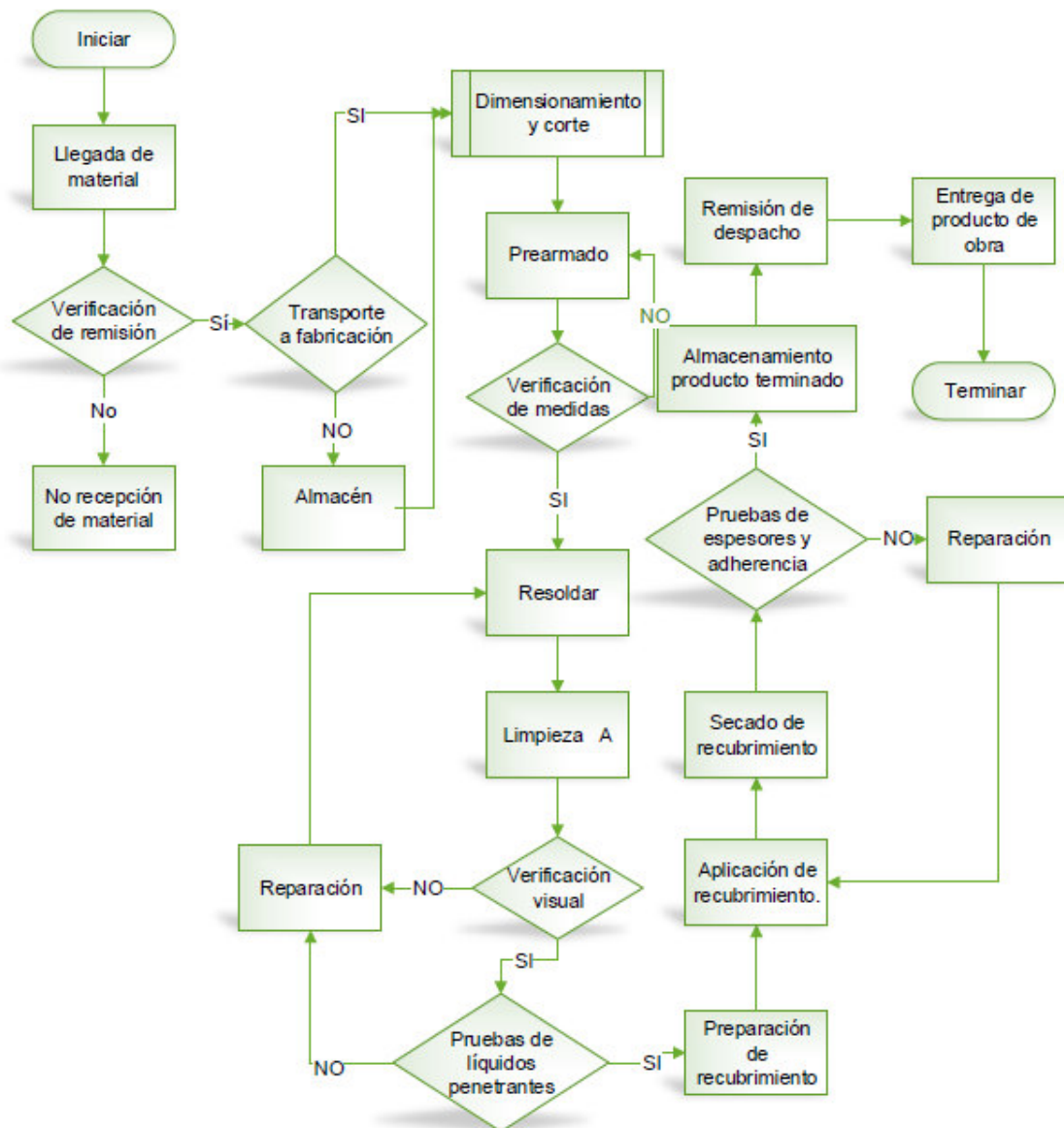


Figura 6. Descripción del proceso actual de fabricación de estructura metálica, JARCO SA. Fuente, autor.

En relación a lo anterior se detalla cada una de las diferentes actividades:

**1. Recepción del material.** Antes de empezar el proceso de limpieza y aplicación del recubrimiento, el material es recibido en la planta, ubicada en la ciudad de Madrid, el encargado de realizar esta tarea es el almacenista, quien hace verificación manual del material que se le está entregando (ver Figura 7) frente a la remisión, en cuanto a dimensiones y cantidades.



*Figura 7.* Materia prima .Fuente, autor.

**2. Transporte.** El material es descargado por los ayudantes de planta, quienes son los encargados de realizar esta tarea y de llevar el material con la utilización de un montacargas (ver Figura 8) al área de almacén si el material no se va utilizar inmediatamente, o al área de dimensionamiento y corte si se debe utilizar de inmediato (por lo general el material llega siempre retrasado).



*Figura 8.* Montacargas .Fuente, autor

**3. Corte.** De acuerdo a la obra que se esté realizando y a los planos de taller, los materiales son cortados atendiendo las dimensiones solicitadas (ver Figura 9).



*Figura 9.* Corte de material. Fuente, autor

**4. Prearmado.** Cuando el material ha sido cortado es transportado al área de pre armado en donde se realiza dicho proceso, uniendo pieza a pieza de acuerdo a planos de montaje con puntos de soldadura para ir formando los conjuntos solicitados en planos (ver Figura 10).



*Figura 10.* Estructuras pre armadas. Fuente, autor

**5. Verificación de medidas.** Las medidas son verificadas por el ingeniero residente de planta, quien es el encargado de inspeccionar y aprobar que las piezas cumplen con las dimensiones de acuerdo a los planos de la estructura que se va a fabricar (ver Figura 11). Si las piezas cumplen con las medidas solicitadas son llevadas a resoldar, si no cumplen con las dimensiones son devueltas al área de pre armado.



*Figura 11.* Verificación de medidas. Fuente, autor

**6. Resoldar.** Un vez la pieza cumple con las dimensiones necesarias de la estructura a fabricar el soldador entra a realizar el proceso de soldadura de acuerdo al procedimiento establecido (ver Figura 12).

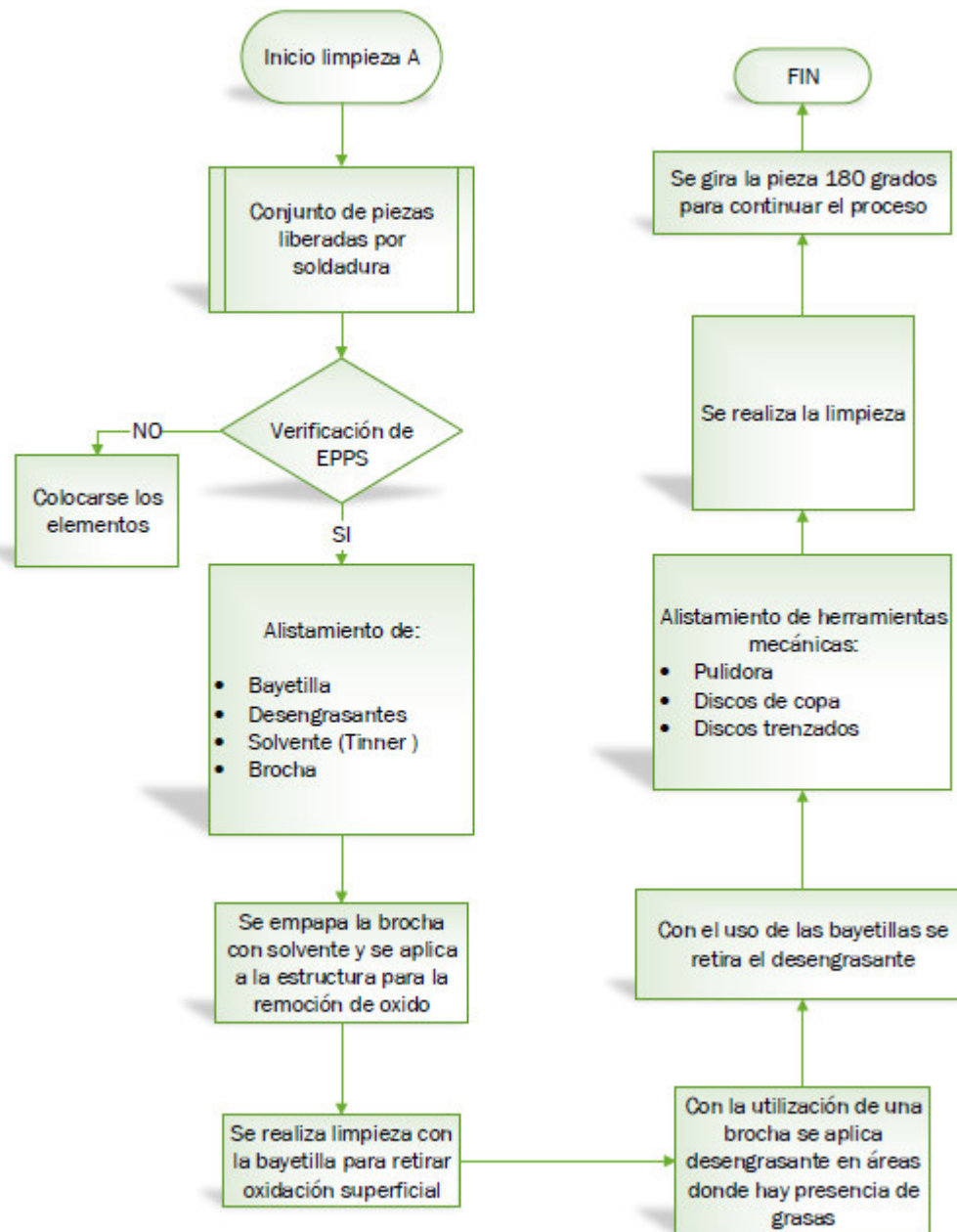


*Figura 12.* Soldadura de piezas. Fuente, autor

**7. Limpieza A.** Los conjuntos o piezas son transportadas al área de limpieza en donde los trabajadores realizan proceso de limpieza con solventes SSPS – SP 01 ayudándose con brochas y rodillos para impregnar el solvente a la estructura. El solvente se deja en la estructura para que este actúe, con el fin de eliminar contaminantes tales como aceites, grasas, tierra, sales y polvo; pasado un tiempo prudente se empieza a realizar la limpieza de retiro del solvente con la ayuda de bayetillas las cuales son desechados una vez son utilizados.

Terminada esta actividad se realiza la limpieza SSPS – SP 03 con herramientas mecánica (ver Figura 14) utilizando discos de copa y gratas trenzadas para realizar una retiro de material como

calaminas suelta, óxido, pintura además sirve para remover restos de soldadura, salpicaduras de soldadura y laminaciones, para alisar soldaduras rugosas y redondear muescas. El proceso de limpieza denominado A (para diferenciarlo del proceso a proponer ver Figura 13).



**Figura 13.** Descripción del proceso actual de limpieza. En la imagen se muestra cada una de las diferentes actividades que se siguen en el proceso actual de limpieza en JARCO SA. Fuente, autor.





*Figura 14.* Limpieza con herramienta mecánica. Fuente, autor

**8. Inspección.** El ingeniero residente de planta realiza inspección visual de las soldaduras (ver Figura 15) con el fin de determinar si existen defectos tales como: socavación, agrietamiento, porosidades, de existir dichos problemas la estructura es devuelta para que ser soldada nuevamente.



*Figura 15.* Inspección visual. Fuente, autor

**9. Pruebas líquidos penetrantes.** De acuerdo a los requerimientos y a la documentación de calidad que se debe entregar en cada uno de los proyectos, se debe realizar pruebas para tener evidencias que las soldaduras no presenten fallas, como: porosidad agrupada, socavación, socavación de cordón, escorias, porosidad aislada o falta de fusión; (ver Figura 16) de presentar

alguno de los problemas antes mencionados la estructura es devuelta para ser reparada y resoldada nuevamente.



**Figura 16.** Pruebas de líquidos penetrantes. En la imagen se muestra pruebas realizadas a las soldaduras, adicionalmente informe que se debe presentar sobre las mismas. Fuente, autor.

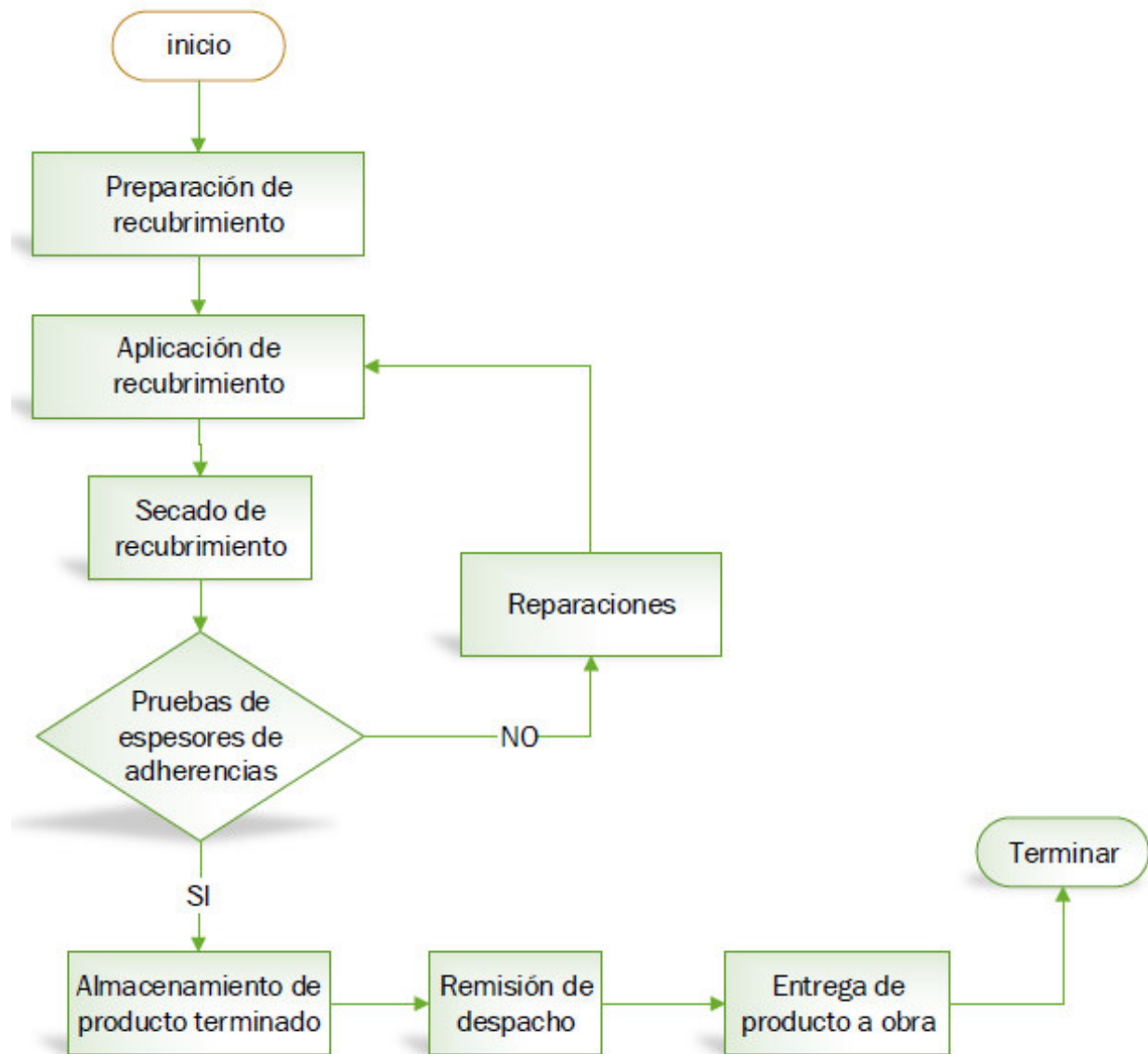
**10. Recubrimiento.** Si las soldaduras no presentan errores, la estructura es liberada por el ingeniero residente de planta, para que las piezas inicien el proceso de recubrimiento.

El proceso en mención inicia mezclando la cantidad de pintura por parte de los trabajadores de acuerdo a su criterio, en un recipiente diferente al del envase original. El recubrimiento es aplicado mediante una pistola alimentada con un compresor de aire (ver Figura 17). Después de realizar este proceso la estructura se deja secar un día completo.



**Figura 17.** Aplicación de recubrimiento a la estructura metálica. Fuente, autor

A continuación se ilustra mediante un gráfico (ver Figura 18) como se lleva actualmente el proceso de recubrimiento en JARCO SA.:



*Figura 18.* Descripción del proceso actual de aplicación de recubrimiento en JARCO SA. Fuente, autor.

**11. Pruebas de espesores y adherencias.** Una vez la pintura está seca, el ingenio residente procede a realizar inspección visual, pruebas de espesores y adherencia (ver Figura 19) para garantizar que el recubrimiento cumpla con el grosor, que este bien aplicado y descartar que la pintura sea de mala calidad.

Si las pruebas hechas al recubrimiento determinan que cumple con las condiciones requeridas se procede a almacenar las piezas, para posteriormente ser transportadas a la obra donde van a ser instaladas, de lo contrario se devuelven la estructura para que se repase la pintura o se repinta para cumplir con el espesor requerido.



*Figura 19.* Registro de las pruebas de adherencia. Fuente, autor.

**12. Remisión y entrega.** Cuando la estructura esta lista (ver Figura 20) se realiza remisión de despacho para luego ser transportada y entregada a los ingenieros residentes responsables de las obras donde se van a instalar las piezas.



*Figura 20.* Estructura lista para ser instalada. Fuente, autor.

A continuación se realiza un cuadro resumen de las actividades ejecutadas para un proyecto, teniendo en cuenta las condiciones del mismo y de los responsables de cada actividad:

**Tabla 1. Detalle proceso actual de fabricación de estructura metálica en JARCO SA**

PROCESO DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA PLANTA JARCO SA				
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	ASPECTO TÉCNICO	RESPONSABLE
1	<b>Recepción del material</b>	Se reciben los productos terminados procedentes de fábricas y almacenes, estos se apilan en el camión de transporte.	La documentación se revisa, verificando que este de acuerdo a la orden de compra realizada, esta comprobación se realiza en cuanto cantidad y dimensionamiento del material.	Almacenista
2	<b>Transporte</b>	El material es descargado por los ayudantes de planta, quienes son los encargados de realizar esta tarea y de llevar el material con la utilización de un montacargas.	El material se llevara al area de dimensionamiento y corte para que ingrese al proceso de fabricacion o a la zona de almacenamiento según corresponda.	Contratista
3	<b>Corte</b>	De acuerdo a la obra que se esté realizando y a los planos de taller, los materiales son cortados según las dimensiones solicitadas.	Las medidas son estipuladas en planos y cada pieza lleva medida y marca específica.	Trabajador de área
4	<b>Pre-armado</b>	Las partes se unen pieza a pieza de acuerdo a planos de montaje con puntos de soldadura para ir formando los conjuntos solicitados en los planos.	Cada elemento tiene una ubicación en el conjunto se debe respetar de acuerdo a plano	Armador
5	<b>Verificación de medidas</b>	Las medidas son verificadas por el ingeniero residente de planta, quien es el encargado de inspeccionar y aprobar que las piezas cumplen con las dimensiones de acuerdo a los planos de la estructura que se va a fabricar.	Las medidas deben coincidir con las estipuladas en los planos, pues cualquier modificación que se presente afectara el montaje e implicará reprocesos.	Ingeniero de planta
6	<b>Soldar</b>	La soldadura es un proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de acuerdo a los planos y obra que se este ejecutando.	Soldar las piezas de acuerdo a los planos de obra.	Soldador
7	<b>Limpieza SP1</b>	se realiza para la remoción de materiales extraños tales como grasas, manchas y otros contaminantes mediante solvente y limpiadores utilización de herramientas manuales.	Limpieza con solvente SSPC - SP1 Limpieza manual SSPC - SP2	Trabajadores
	<b>Limpieza SP2</b>	Se realiza la actividad con herramientas mecánicas removiendo las escoria de laminación y herrumbres.	Limpieza mecanica SSPC - SP3	
8	<b>Inspección</b>	El ingeniero residente de planta realiza inspección visual de las soldaduras con el fin de determinar si existen defectos tales como: socavación, agrietamiento, porosidades.	Revisión de estructura y determinación de defectos.	Ingeniero de planta
9	<b>Pruebas líquidos penetrantes</b>	Es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados.	Realización de pruebas de líquidos penetrantes para definir si las soldaduras presentan o no fallas.	Ingeniero de planta
10	<b>Recubrimiento</b>	El proceso en mención inicia mezclando la cantidad de pintura considerada por parte de los trabajadores, en un recipiente diferente al del envase original. El recubrimiento es aplicado mediante una pistola alimentada con un compresor de aire de manera sistemática.	Se verifica la aplicación del recubrimiento.	Trabajador-pintor
11	<b>Remisión y entrega</b>	Cuando la estructura esta lista se realiza remisión de despacho y posteriormente se transporta, para ser entregada a los ingenieros residentes responsables de las obras donde se van a instalar las piezas.	Se debe generar remisiones para un control interno de lo fabricado y lo entregado.	Ingeniero de planta

Fuente, autor.

## 8. Identificación del problema y medición de variables

Actualmente el producto generado como resultado del proceso de fabricación de estructura metálica realizado por JARCO SA, no cumple en muchas ocasiones con los parámetros requeridos por los clientes, en algunas o gran parte de las piezas, razón que lleva a que la estructura deba ser reprocesada. Los reprocesos por lo general se deben realizar cuando la estructura ya ha sido terminada de instalar o durante el proceso de montaje en las obras.

Dentro de diez (10) proyectos realizados en lo corrido del año 2016, tomados como fuente de información, se puede evidenciar los reprocesos que se tuvieron que realizar y los sobrecostos que se dieron, del total de la utilidad esperada dichos reparaciones representan el 48 %. A continuación se muestra los proyectos observados y el valor de las reprocesos en cada uno:

**Tabla 2.** Información de proyectos con reprocesos.

ITEM	OBRA	TIPO ESTRUCTURA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO POR KILO	VALOR DEL PROYECTO	COSTOS POR REPARACION
1	AEROPUERTO NUEVO DORADO	MIXTA	Kg	347.000	\$ 5.881	\$ 2.040.707.000	\$ 39.181.574
2	SITEMA DE TRANSPORTE MALETAS AEROPUERTO NUEVO DORADO	MIXTA	Kg	500.000	\$ 5.848	\$ 2.924.000.000	\$ 53.801.600
3	PLANTA OSMOSIS RUBAILES	ALMA LLENA	Kg	850.000	\$ 5.856	\$ 4.977.600.000	\$ 107.516.160
4	CINE COLOMBIA	MIXTA	Kg	650.000	\$ 5.836	\$ 3.793.400.000	\$ 71.315.920
5	CENTRO MAYOR	MIXTA	Kg	355.000	\$ 5.805	\$ 2.060.775.000	\$ 31.323.780
6	EDIFICIO CARVAJAL	ALMA LLENA	Kg	130.000	\$ 5.823	\$ 756.990.000	\$ 14.231.412
7	CAMBULO	MIXTA	Kg	165.000	\$ 5.875	\$ 969.375.000	\$ 18.999.750
8	JAVERIANA	MIXTA	Kg	38.000	\$ 5.822	\$ 221.236.000	\$ 3.982.248
9	ÉXITO VIVA BQUILLA	MIXTA	Kg	275.000	\$ 5.876	\$ 1.615.900.000	\$ 31.025.280
10	NUESTRO ATLANTICO	MIXTA	Kg	315.000	\$ 5.880	\$ 1.852.200.000	\$ 36.303.120
						\$ 21.212.183.000	\$ 407.680.844







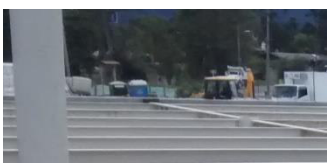

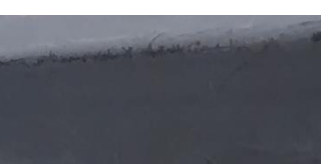
Fuente, autor.

Los reprocesos se evidencian en los problemas de recubrimientos que si bien son el resultado final, en gran medida su resultado depende de la calidad de la limpieza que se realice a los materiales.







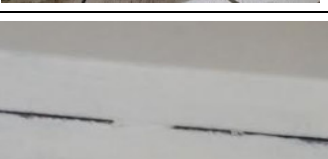


Dentro de las principales fallas que se presentan en la estructura metálica, producida por JARCO SA., y por los que se exigen reprocesos encontramos:

**Tabla 3.** Principales problemas que se presentan en la estructura metálica producida por JARCO SA.

<b>FALLAS DE RECUBRIMIENTO</b>			
<b>Ítem</b>	<b>IMAGEN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>
1		Desprendimiento de recubrimiento en piezas (correas de cubierta), exponiendo la superficie al medio ambiente y por ende a la oxidación.	Desprendimiento moderado
2		Se observa desprendimiento del recubrimiento y oxidación en la zona expuesta.	Desprendimiento leve
3		Desprendimiento de recubrimiento, mala limpieza, se observa aplicación de recubrimiento en zona afectada.	Impurezas
4		Desprendimiento del recubrimiento en piezas, se presenta ampolladuras, que produce exposición de la estructura a la oxidación.	Ampollamiento severo
5		Desprendimiento de recubrimiento proveniente de la presencia de ampolladuras y presencia de oxidación debido a la presencia de humedad antes de aplicar el recubrimiento.	Impurezas
6		Presencia de partículas de polvo, a causa de falta de remoción de escorias y residuos de soldadura.	Impurezas

7		Escurrimiento de pintura debido a la mala aplicación y exceso de solventes en la mezcla.	Recubrimiento escurrido
8		Deslizamiento del recubrimiento debido a la mala aplicación y exceso de solventes en la mezcla.	Recubrimiento escurrido
9		En el recubrimiento se observan parches negros, los cuales indican que el recubrimiento no fue suficiente.	Discontinuidad de película
10		El recubrimiento no fue aplicado en el 100% de la estructura, adicionalmente existe un agujero que implica acumulación de humedad lo que atenúa la situación.	Discontinuidad de película
11		Se observa piezas con falta de recubrimiento, lo que implica exposición al ambiente y oxidación futura.	Discontinuidad de película
12		Hallazgo de manchas de oxidación en recubrimientos, debido a la presencia de arrugas y cuarteamiento del recubrimiento.	Corrugado
13		Se percibe que la tonalidad del recubrimiento no es uniforme.	Perdida de tonalidad desigual
14		La limpieza no fue ejecutada y la presencia de oxidación es inminente.	Falta de limpieza
15		Desprendimiento de la pintura en los bordes de los elementos.	Discontinuidad de película

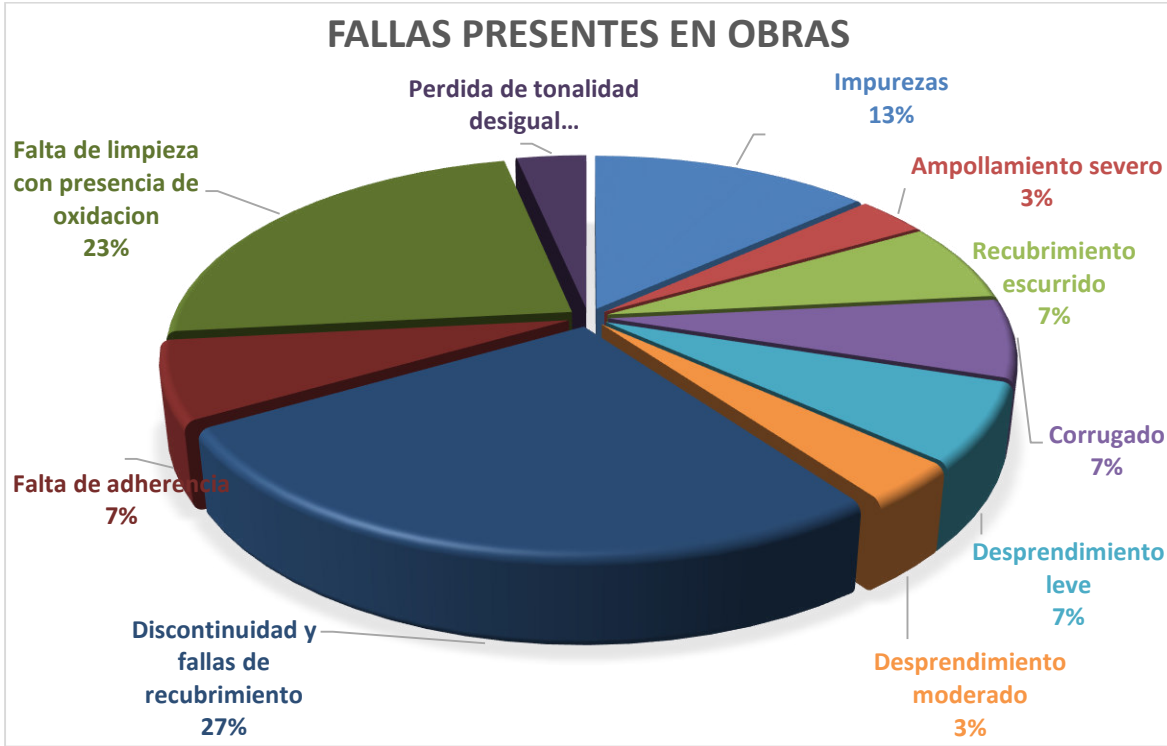


16		Ampollamiento del recubrimiento con presencia de oxidación.	Impurezas
17		Las piezas no fueron recubiertas en un 100% y debido a la forma de perfiles PHR se almaceno agua lluvia, lo que generó oxidación.	Discontinuidad de película
18		Recubrimiento caída y presencia de oxidación.	Falta de adherencia
19		Presencia de corrosión en empalmes.	Falta de limpieza
20		Piezas con falta de recubrimiento implica exposición al ambiente y oxidación futura.	Discontinuidad de película
21		Presencia de oxidación en toda la estructura, lo que nos indica que no se realizó adecuada limpieza a la estructura.	Falta de limpieza
22		Perfiles PHR unidos, en los cuales el recubrimiento no fue aplicado el 100 %, se visualiza en la unión.	Discontinuidad de película
23		Se observa desprendimiento del recubrimiento y oxidación en la zona expuesta, estos elementos no se han instalado y ya presentan problemas.	Desprendimiento leve
24		Presencia de corrosión en empalmes	Falta de limpieza

25		Presencia de corrosión en uniones de más de un elemento.	Falta de limpieza
26		Presencia de corrosión en empalmes.	Falta de limpieza
27		Presencia de oxidación en perforaciones contravientos y templetes (varillas de unión de elementos de cubierta).	Falta de adherencia de recubrimiento
28		Presencia de oxidación de correas PHR.	Discontinuidad de película y limpieza interna
29		Hallazgo de manchas de oxidación en recubrimientos debido a la presencia de arrugas y cuarteamiento del recubrimiento.	Corrugado
30		Reparaciones de recubrimiento en uniones por presencia de oxidación.	Falta de limpieza

Fuente, autor.

En el gráfico que se muestra a continuación se representan las principales fallas, que ocasionan reprocesos para la estructura metálica producida por JARCO SA. (ver Figura 21):



**Figura 21.** Fallas de la estructura metálica. La grafica sintetiza las fallas presentes en la estructura metálica de las diferentes obras que fueron objeto de estudio en el desarrollo del proyecto. Fuente, autor.

## 9. Análisis del proceso actual y comparativo entre métodos de limpieza y tipos de recubrimiento empleados en la estructura metálica.

### 9.1. Análisis proceso actual

De la descripción de las diferentes fallas que presenta la estructura metálica producida por JARCO SA., realizada en el capítulo anterior, se puede evidenciar que las principales causas de los reprocesos de acuerdo a su ocurrencia y que serán objeto de análisis a continuación son:

- Falla en el recubrimiento, incluye recubrimiento fuera de parámetros.
- Falta de limpieza lo que genera presencia de oxidación en la estructura.
- Impurezas en la estructura.

#### 1. Fallas en el recubrimiento.

**Tabla 4.** Análisis 5W+2h de las falla de re-cubrimiento de la estructura metálica.

DEFECTO	Fallas en recubrimientos
<b>5W+2h</b>	What - Que La mala aplicación genera malformaciones en los recubrimientos, los cuales son defectos que se deben corregir.
	When - Cuando En la recepción del material en obra por parte del contratistas e ingenieros residentes de obra.
	Where – Donde Estructura en general.
	Who – Quien Contratistas y trabajadores en planta.
	How – Como Burbujas, ampolladuras, recubrimientos corridos o escurridos.
	How Much - cuanto Se generan sobrecostos administrativos, por alquiler de andamios, pago a trabajadores, consumibles, lo que ocasiona reducción en las ganancias.
	Why - Por que Sucede por la falta de inspecciones en planta y una mala mezcla de solventes.

Fuente, autor.

**Tabla 5.** Análisis 5 porqué, para las fallas de recubrimiento.

<b>Defecto</b>	<b>Fallas en recubrimientos</b>
Fenómeno	La mala aplicación genera malformaciones en los recubrimientos los cuales son defectos que se deben corregir.
¿Por qué?	Presencia de burbujas, ampolladuras, recubrimientos corridos o escurridos.
¿Por qué?	Falta de pericia en el pintor al aplicar y preparar el recubrimiento.
¿Por qué?	Mezcla desproporcionada de solventes.
¿Por qué?	No se ejerce control sobre el proceso.

Fuente, autor.

## 2. Recubrimiento fuera de parámetros.

**Tabla 6.** Análisis 5W+2h para recubrimiento fuera de parámetros.

<b>DEFECTO</b>		<b>Recubrimientos fuera de parámetros</b>
<b>5W+2h</b>	What - Que	Exceso de recubrimiento o falta de aplicación generan problemas de calidad y sobrecostos.
	When – Cuando	Durante la instalación de la estructura en obra.
	Where – Donde	Estructura en general.
	Who – Quien	Contratistas y trabajadores.
	How – Como	Película baja en espesor, discontinuidad de recubrimiento.
	How Much - cuanto	Se generan sobrecostos por reproceso, aplicación de recubrimientos en obra, pago a trabajadores, consumibles y reducción en las ganancias.
	Why - Por que	Sucede por la falta de capacitación y pericia de los trabajadores en la aplicación de recubrimiento.

Fuente, autor.

**Tabla 7.** Análisis 5 porqué para la presencia de recubrimiento fuera de parámetros.

Defecto	Cantidad de recubrimientos fuera de parámetros
Fenómeno	Exceso de recubrimiento o falta de aplicación generan problemas de calidad y sobrecostos.
¿Por qué?	Película baja en espesor, discontinuidad de recubrimiento.
¿Por qué?	Mayor trabajo en obra para garantizar espesores de película seca.
¿Por qué?	Falta de control de medición de espesor en la aplicación del recubrimiento.
¿Por qué?	No hay controles estipulados.

Fuente, autor.

### 3. Presencia de oxidación

**Tabla 8.** Análisis 5W+2h para la presencia de oxidación en la estructura metálica.

DEFECTO		Presencia de oxidación
<b>5W+2h</b>	What - Que	La presencia de oxidación en la estructura genera inconformidades en la calidad de los productos.
	When – Cuando	Las estructura ha sido entregada o cuando se está a poco tiempo de culminar el proyecto.
	Where – Donde	Los traslapes, uniones entre más de dos elementos, bordes fillos, perforaciones.
	Who – Quien	Contratistas y trabajadores.
	How – Como	Presencia de manchas amarillentas.
	How Much – Cuanto	Se generan sobrecostos: administrativos, por alquiler de andamios, pago a trabajadores, consumibles que generan reducción en las ganancias.
	Why - Por que	Este problema se genera por la falta de una limpieza rigurosa durante la fabricación de la estructura.

Fuente, autor.

**Tabla 9.** Análisis 5 porqué para cuando hay presencia de oxidación en la estructura metálica.

<b>Defecto</b>	<b>Presencia de oxidación</b>
Fenómeno	La presencia de óxido en la estructura genera inconformidades en la calidad de los productos.
¿Por qué?	No hay control de la limpieza.
¿Por qué?	No hay método de limpieza.
¿Por qué?	Los tiempos de entrega son muy cortos.
¿Por qué?	No se le presta la atención requerida.

Fuente, autor.

#### 4. Impurezas en la estructura.

**Tabla 10.** Análisis 5W +2h para cuando existen impurezas en la estructura metálica.

<b>DEFECTO</b>		<b>Impurezas en la estructura</b>
<b>5W + 2h</b>	What - Que	La falta de verificación y limpieza de la estructura ocasiona malformaciones.
	When – Cuando	Durante la instalación de la estructura en obra.
	Where – Donde	Uniones de soldadura
	Who – Quien	Soldadores y trabajadores encargados de la limpieza en planta.
	How – Como	Presencia de escorias, salpicaduras de soldadura y puntos mal aplicados.
	How Much - cuanto	Se generan sobrecostos por reproceso, aplicación de recubrimientos en obra, pago a trabajadores, consumibles, ocasionando reducción en las ganancias.
	Why - Por que	Sucede este problema por la falta de inspecciones y controles de limpieza.

Fuente, autor.

**Tabla 11.** Análisis 5 porqué, para cuando existe impurezas en la estructura.

Defecto	Impurezas en la estructura
Fenómeno	La estructura presenta impurezas, se evidencia falta de verificación y presencia de malformaciones.
¿Por qué?	Hay presencia de elementos extraños en el recubrimiento.
¿Por qué?	Falta verificar la estructura antes de aplicar el recubrimiento.
¿Por qué?	Desconocimiento del tema.
¿Por qué?	No hay controles estipulados.

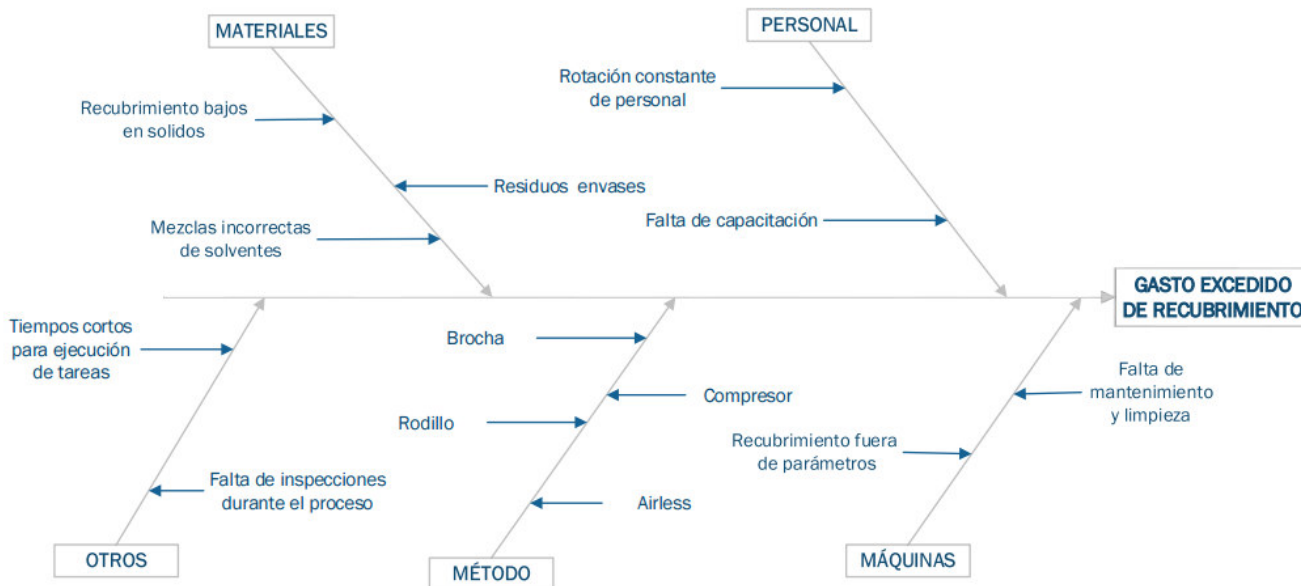
Fuente, autor.

En las diagramas causa-efecto (ver Figura 22) se analizan los elementos involucrados en la falta de limpieza de la estructura por la que se genera oxidación y presencia de impurezas y el gasto excedido de recubrimiento por la aplicación fuera de parámetros de la pintura (ver Figura 23)



**Figura 22.** Diagrama casa-efecto, análisis de falta de limpieza de la estructura metálica. Fuente, autor.














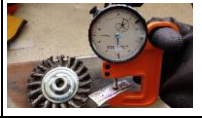
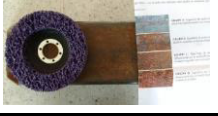


**Figura 23.** Diagrama causa-efecto, para el gastos excedido de recubrimiento aplicado a la estructura metálica. Fuente, autor.

## 9.2. Comparativo entre tipos de limpieza y de recubrimientos.

**9.2.1. Limpieza.** A continuación se muestran diferentes observaciones experimentales en donde se realiza comparativo entre herramientas empleadas para la limpieza de estructura metálica. Anexo D. (Videos de pruebas).

**Observación experimental 1.** El ensayo consiste en realizar una verificación de las condiciones de oxidación para un perfil PT 100 \*100\*5 milímetros grado 50, en un área de 250 cm cuadrados, garantizando las mismas condiciones para cada disco a utilizar, con el fin de calcular el tiempo de ejecución para alcanzar un grado de limpieza B SP-5 con cada uno, todos estos discos se encuentran en el mercado, adicionalmente se mide el perfil de anclaje en cada una de las superficies.

**Tabla 12.** Grado de oxidación y perfil de anclaje, observación experimental 1.

DISCO	GRADO DE OXIDACION		AREA	TIEMPO minutos		PERFIL DE ANCLAJE		mils
COPA DE ALAMBRE TRENADO 3"		Grado B	250 CM2		2,42			2,6
COPA DE ALAMBRE 3"		Grado B	250 CM2		3,16			2,5
DISCO DE ALAMBRE TRENADO 4"		Grado B	250 CM2		4,24			2,9
DISCO STRIP 4"		Grado B	250 CM2		1,52			2,3

Fuente, autor.


1. De acuerdo a la norma ISO 8501-1, con la cual se definen los grados de oxidación, se observó mediante el método de comparación visual, un grado de oxidación B, existe presencia de óxido y desprendimiento de calamina en cada una de las superficies.

2. De igual modo al realizar la limpieza de las superficies utilizando los diferentes discos, se evidencia que los tiempos disminuyen al utilizar el disco Clean & Strip 4", obteniendo un grado de limpieza mayor, llegando a B SP-5 en un tiempo de 1,52 minutos.

3. Con referencia al parámetro de rugosidad, teniendo en cuenta el rango permisible para dicha variable, se observa que los discos de prueba cumplen dicha condición, no obstante el disco Clean & Strip 4" muestra un resultado de 2,3 mils, lo que permite una mayor adherencia del recubrimiento.

**Observación experimental 2.** Para el segundo ensayo se emplea un tubo de 3" en grado de oxidación C, y se somete a una limpieza de 5 minutos, con cada uno de los discos de prueba, para verificar la limpieza final y el área total que se logra en el tiempo establecido.

**Tabla 13.** Grado de oxidación y limpieza obtenida con los diferentes discos, en 5 minutos.







DISCO	AREA	GRADO DE OXIDACION	5 MINUTO	DETALLE		
	COPA DE ALAMBRE TRENADO 3"	475		GRADO C		La pieza presenta un color oscuro opaco y gran cantidad manchas
	COPA DE ALAMBRE 3"	475		GRADO C		la pieza presenta oxido, solo se limpia un 30% del area la limpieza es muy superficial
	DISCO DE ALAMBRE TRENADO 4"	475		GRADO C		la pieza presenta un color oscuro brillante
	DISCO STRIP 4"	475		GRADO C		La pieza presenta un color plateado brillante con gran cantidad de picadas o manchas negras

Fuente, autor.

En razón a que el tubo presenta una oxidación grado C, se evidencia que los discos empleados en la prueba no logran una limpieza B SP-5, tomado este como el criterio de limpieza conveniente, establecido para este estudio, sin embargo nuevamente el disco Clean & Strip 4" muestra una mayor limpieza y permite abarcar un área mayor de la estructura.

**Observación experimental 3.** Para este ensayo se utiliza un PT 100\*50\*5 con recubrimiento; se busca mirar la relación entre los discos de prueba, mediante las veces de pasadas de los mismos sobre la superficie; en sentido sur /norte, frente a la limpieza obtenida, para concluir cual disco presenta las mejor condición de limpieza.

**Tabla 14.** Limpieza obtenida de acuerdo al número de pasadas con los discos.

DISCO		PASADA DE SUR A NORTE	
	COPA DE ALAMBRE 3"		 27
	DISCO DE ALAMBRE TRENADO 4"		 20
	COPA DE ALAMBRE TRENADO 3"		 18
	DISCO STRIP 4"		 1

Fuente, autor.

Con base a las pruebas 1, 2, realizadas con anterioridad, se toma como referencia el disco Clean & Strip 4", ya que ha presentado mejores resultados. En este ensayo nuevamente se evidencian los resultados favorables para dicho disco, pues con 1 pasada sobre la superficie de la estructura se logra una limpieza muy superior frente a los demás discos, que con 18, 20 y 27 pasadas respectivamente logran una limpieza inferior y producen más horas de trabajo/hombre, mayor consumo de energía, y desgaste de maquinaria.

**Relación costo-beneficio.** De acuerdo a las pruebas realizadas y los tiempos tomados en el laboratorio se realiza comparación área vs tiempos, con el fin de determinar la cantidad de días necesarios para efectuar limpieza a un área definida de estructura metálica, en el ejemplo que se

plantea esta área corresponde a 4500 m<sup>2</sup>. Para realizar dicha limpieza se maneja la hipótesis de que va a ser realizada por una sola persona.

**Tabla 15.** Relación costo beneficio.

METROS CUADRADOS DE UN PROYECTO 4500			COMPARACIÓN DE COSTO BENEFICIO							
DISCO	RELACIÓN DE PASADAS		DIAS A TRABAJAR	RELACIÓN DE GRATAS	PRECIO GRATAS	TOTAL	DÍAS DE MAS	GASTO DIARIO POR PERSONA	VALOR DIAS TRABAJADOR	VALOR DIAS TRABAJADOS + PRECIO GRATAS
COPA DE ALAMBRE TRENADO 3 "	18	1,28	38	11	12300	\$ 138.375,00	8	\$ 46.535,76	\$ 392.778,89	\$ 531.153,89
COPA DE ALAMBRE 3"	27	1,41	42	18	12300	\$ 221.400,00	12	\$ 46.535,76	\$ 576.360,33	\$ 797.760,33
DISCO DE ALAMBRE TRENADO 4"	20	1,31	39	13	15300	\$ 202.500,00	9	\$ 46.535,76	\$ 426.933,58	\$ 629.433,58
DISCO STRIP 4"	1	1,00	30	15	34900	\$ 523.500,00	0	\$ 46.535,76	\$ -	\$ 523.500,00

En la tabla se muestra relación costo beneficio, de la utilización de discos frente a los días necesarios para la limpieza, y el costo por una persona, para una estructura de 4500m<sup>2</sup>. Fuente, autor.

Una vez realizados los cálculos se determina que el tiempo para desarrollar la limpieza, por una sola persona, a un área de estructura metálica de 4500 m<sup>2</sup> es de 38, 42, 39 y 30 días respectivamente, la variación depende del disco empleado.

El rendimiento de los discos antes de desgaste es de 400, 250, 340 y 300 m<sup>2</sup>, para el ejercicio planteado se necesitarían 11, 18, 13 y 15 discos para lograr la limpieza requerida, en un tiempo de 38, 42, 39 y 30 días, trabajando 8 horas, una sola persona.

Observando lo anterior, se evidencia diferencia en el tiempo de ejecución, que se reflejan en mayores costos al proceso (horas hombre, entre otros), adicional a las multas por retraso e incumplimientos en las obras que se puedan presentar.

A continuación se muestra el cálculo de lo que le cuesta a la empresa, cada día de un empleado con ingreso de \$900.000 mensuales, este valor es definido para calcular el costo de mano de obra que asume la empresa de acuerdo al disco que emplea para realizar la limpieza; teniendo en cuenta que los tiempos son medidos a la terminación de la tarea:

**Tabla 16.** *Calculo costo hora hombre.*

<b>CALCULO COSTO HORA HOMBRE</b>	
COSTO DIA TRABAJADOR PROMEDIO	\$ 30.000
<b>COSTO HORA</b>	<b>\$ 3.750</b>
<b>COSTO SEGURIDAD SOCIAL Y PARAFISCALES</b>	<b>\$ 1.367</b>
SALUD 8.5%	\$ 319
PENSION 12%	\$ 450
RIESGOS (5), 6.96%	\$ 261
PARAFISCALES 9%	\$ 338
<b>COSTO PRESTACIONES SOCIALES</b>	<b>\$ 700</b>
PRIMA DE SERVICIOS 8.33%	\$ 312
VACACIONES 4.17%	\$ 37
INTERESES CESANTIAS 12%	\$ 37
CESANTIAS 8.33%	\$ 312
<b>TOTAL COSTO HORA HOMBRE</b>	<b>\$ 5.817</b>
<b>COSTO DIA TRABAJADOR PROMEDIO</b>	<b>\$ 46.535,76</b>

En la tabla se muestra relación de los valores que asume la empresa por cada hora que trabaja un empleado vinculado por un salario mensual de \$900.000. Fuente, autor

Atendiendo lo anterior y observando una relación costo beneficio se puede concluir que:

A pesar de que los discos CLEAR & STRIP tienen un rendimiento de los más bajos, la limpieza es superior a los otros discos, adicionalmente la realización del tiempo de tarea es menor. Para el estudio se realizó comparación de los días que tardaría una persona ejecutando la limpieza con la cantidad de discos necesarios, también se determinó el valor de mano de obra que le costaría a la empresa los días adicionales del trabajador frente a la limpieza que llevo un menor tiempo de ejecución, observando solo estas variables se puede establecer que el proceso costara un 26% más

representado en la compra de los disco CLEAR & STRIP y que de realizar la limpieza con alguno de los otros discos como se viene realizando hoy se generarían un gasto para el proyecto de 104%.

**9.2.2. Recubrimiento.** Respecto de la comparación para los recubrimientos empleados en la estructura metálica se toman como referentes 4 marcas reconocidas en el país, para el análisis inicial:

**Tabla 17.** Comparación entres marcas de recubrimiento.

MARCAS	NOMBRE DE PRODUCTO	RENDIMIENTO M2/GALÓN	APLICACIÓN		CONTENIDO DE SOLIDOS	PRECIOS		
			RECUBRIMIENTO	SOLVENTE		PRECIO	THINER	VALOR TOTAL
BLEER	ANTICORROSIVO BLER	45 - 55	1 GALON	1/8 GALON THINNER	42,9%	\$ 46.500	\$ 15.000	\$ 48.375
PINTUCO	PINTURA EPOXICA DE ALTOS SOLIDOS	134,5	1 GALON	1/4 GALON CATALIZADOR	89,2 -91,2 %	\$ 139.000	\$ 23.000	\$ 162.000
SIKA	IMPRIMANTE EPÓXICO FOSFATO DE ZINC	90	1 GALON	1/8 GALON COLMASOLVENTE	60%	\$ 142.000	\$ -	\$ 142.000
PPG	SIGMACOVER TM 350 PPG	110	1 GALON	1/10 GALON THINNER 91-92	72%	\$ 106.180	\$ 31.000	\$ 109.280

Fuente, autor.

En la tabla anterior se relacionan cuatro (4) marcas de pinturas, por cada una se muestra las condiciones individuales del recubrimiento (Anexo C, fichas técnicas de pinturas), con valores elementales para calcular cantidades de galones y costo de cada uno. En la tabla que se relaciona a continuación se muestra el rendimiento, las cantidades de galones y el valor total para una superficie de 700 m2, por cada una de las pinturas antes relacionadas:

**Tabla 18.** Relación de variables para recubrimiento en una estructura de 7000 m2.

RELACIÓN DE VARIABLES PARA EL RECUBRIMIENTO DE LA ESTRUCTURA (m2 )
--

7000			
MARCAS	RENDIMIENTO M2/GALON	CANTIDAD DE GALONES	VALOR DEL RECUBRIMIENTO
BLEER	50	140	\$ 6.772.500
PINTUCO	134	52	\$ 8.462.687
SIKA	90	78	\$ 11.044.444
PPG	110	64	\$ 6.954.182

Fuente, autor.

De la anterior tabla se puede establecer:

Para un proyecto con 7000 metros cuadrados a recubrir, según la relación anterior, la cantidad de pintura a preparar por cada una corresponde a: 140, 52, 78, 64 galones respectivamente.

El precio de las pinturas BLEER y PPG son muy parecidos y dentro del grupo de los 4 tipos de recubrimiento son los de menor precio, en razón a lo anterior se realizara comparación entre estos:

**Tabla 19.** Comparación entre recubrimiento Bleer y PPG.

BLEER VS PPG	
Metros por día	600
Cantidad de días	12
Diferencia en pesos	\$ 181.682
Diferencia en galones	76
Cantidad de metros de diferencia	3818
Días para pintar la diferencia	6

Fuente, autor.

1. Los metros por día están relacionados a los aplicados con equipo airles, ya que de acuerdo a la imagen 30. “Rendimiento según el equipo empleado para la aplicación de recubrimiento” con este equipo es con el que se obtiene un mayor rendimiento. Tomando el anterior referente un trabajador aplicara como mínimo  $600 m^2$ , así la cantidad de días que se gastara el empleado para aplicar el recubrimiento a una estructura de  $7000 m^2$ , corresponde a 12 días tanto para BLEER como para PPG.



2. La diferencia en la compra de 140 galones de BLEER vs 64 galones de PPG, necesarios para cubrir la estructura de  $7000 m^2$ , es de \$181,682 pesos.

3. Los galones de diferencia son 76 unidades, los cuales son multiplicados por  $50 m^2$  que corresponde al rendimiento de la pintura BLEER da como resultado  $3800 m^2$ , los cuales implican 6 días de más para la aplicación del recubrimiento con respecto a PPG.

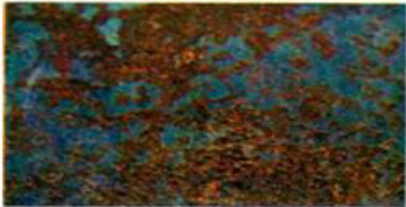
## **10. Propuesta de mejoramiento para el proceso de limpieza y aplicación de recubrimiento de la estructura metálica para JARCO SA**

Para la fabricación de estructura metálica de Jarco SA, se proponen mejoras inmersas en una serie de procesos que se detallan a continuación:

**1. Recepción del material.** En la fabricación de estructura metálica dentro de la cual la limpieza y aplicación de recubrimientos son los procesos principales, la recepción del material es la actividad inicial, en esta etapa se debe verificar dimensiones, cantidades y adicional a como se viene realizando ahora se propone que el material sea revisado para verificar en qué estado llega. Para está verificación se plantea utilizar la metodología que se basa en la comparación de la superficie tratada con el patrón de la norma. Se propone que la verificación sea realizada de forma visual, teniendo como referente la norma ISO 8501-1, en la cual están definidos unos grados de oxidación, (ver Figura 24).



**GRADO A.** Superficie de acero revestido de calamina adherente y prácticamente sin corrosión.



**GRADO B.** Superficie de acero con oxidación residual y donde la calamina empieza a desprenderse.



**GRADO C.** Superficie de acero cuya calamina ha desaparecido por la acción de la oxidación o que se puede eliminar raspando, pero con leves picadas visibles.



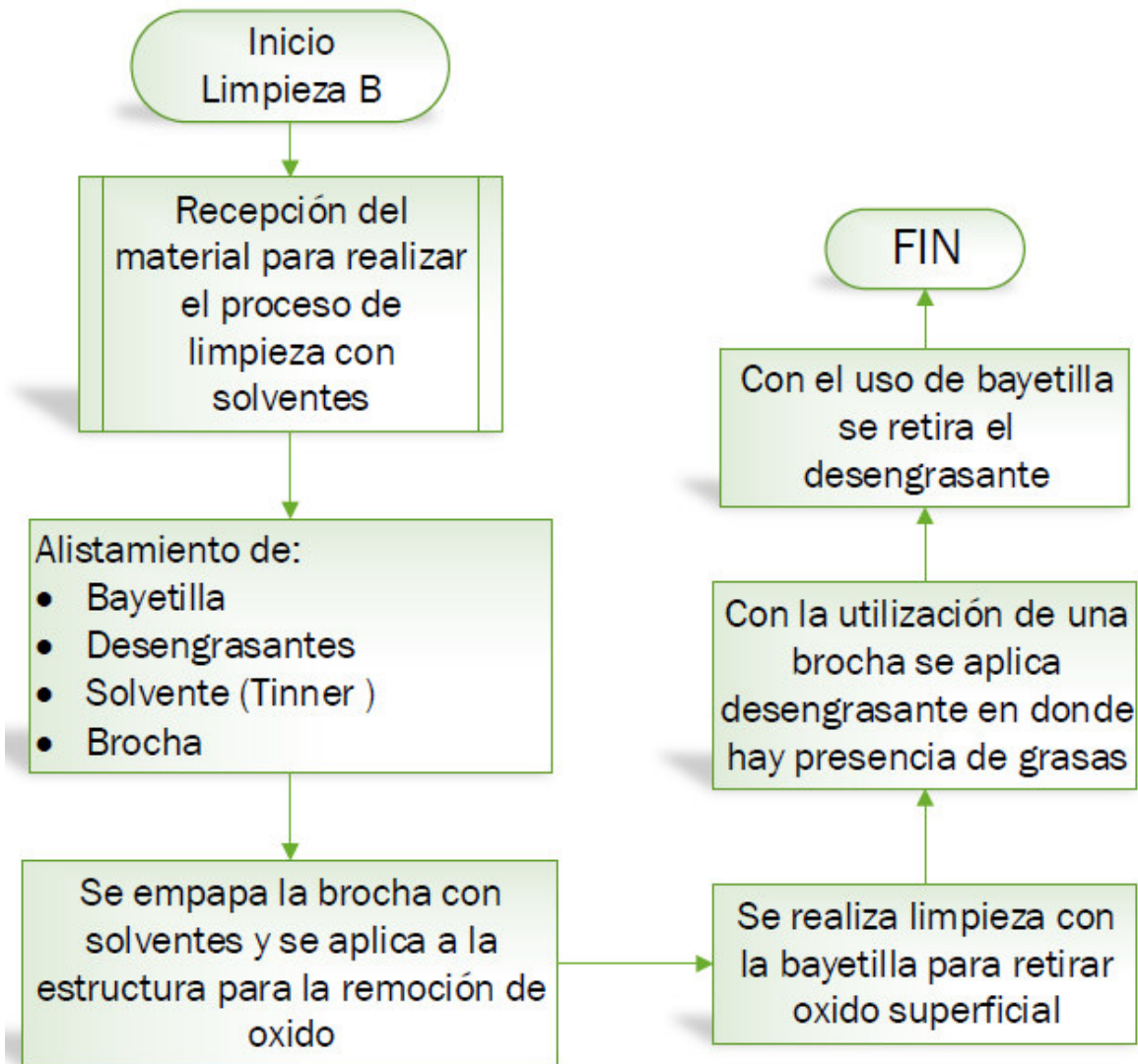
**GRADO D.** Superficie de acero cuya calamina ha desaparecido por acción de la oxidación y en la que se ven numerosas picadas.

*Figura 24.* Grados de oxidación. Fuente, ISO 8501-1, Grados de óxido y de preparación de substratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores.

Se plantea que el encargado de recibir el material verifique que el acero tenga un grado de oxidación hasta B, si el material no cumple con la anterior premisa debe ser devuelto e informar al área de compras, pues con materiales de grado de oxidación C y D la limpieza aumentaría y llevaría a un mayor gasto de tiempo, materia prima y horas hombre.

**2. Transporte.** El material que cumpla con el tiempo de exposición admitido debe ser ingresado a la planta para iniciar el proceso de fabricación, de ser requerido de inmediato el acero debe ser llevado a un área donde se le realizara limpieza con solventes. Si el material no se va a utilizar debe ser almacenado sin ser limpiado, dicho almacenamiento se propone que no sea superior a dos semanas, estableciéndose este como el periodo máximo en que el acero puede estar expuesto al ambiente sin estar en proceso de fabricación.

**3. Limpieza B - limpieza con solventes.** Se propone que se realice una limpieza inicial con un cincel antes de que inicie el proceso de corte, para retirar impurezas, grasas y capas gruesas de óxido, se considera que es importante realizar esta limpieza preliminar para visualizar el estado del material en cuanto al estado de fabricación; en seguida se debe realizar impregnación del solvente a las piezas mediante una brocha, a medida que se valla aplicando se debe ir removiendo materiales grueso con un cepillo de alambre de mano para que la limpieza sea más efectiva, luego se debe retirar el solvente y sus impurezas mediante la remoción con bayetilla y enjuague con solvente; si la estructura presenta grasas se debe aplicar desengrasante con ayuda de una brocha en zonas puntuales y retiro de las impurezas por medio de bayetilla. A continuación se muestra estructura de la limpieza con solventes que se propone (ver figura 25).

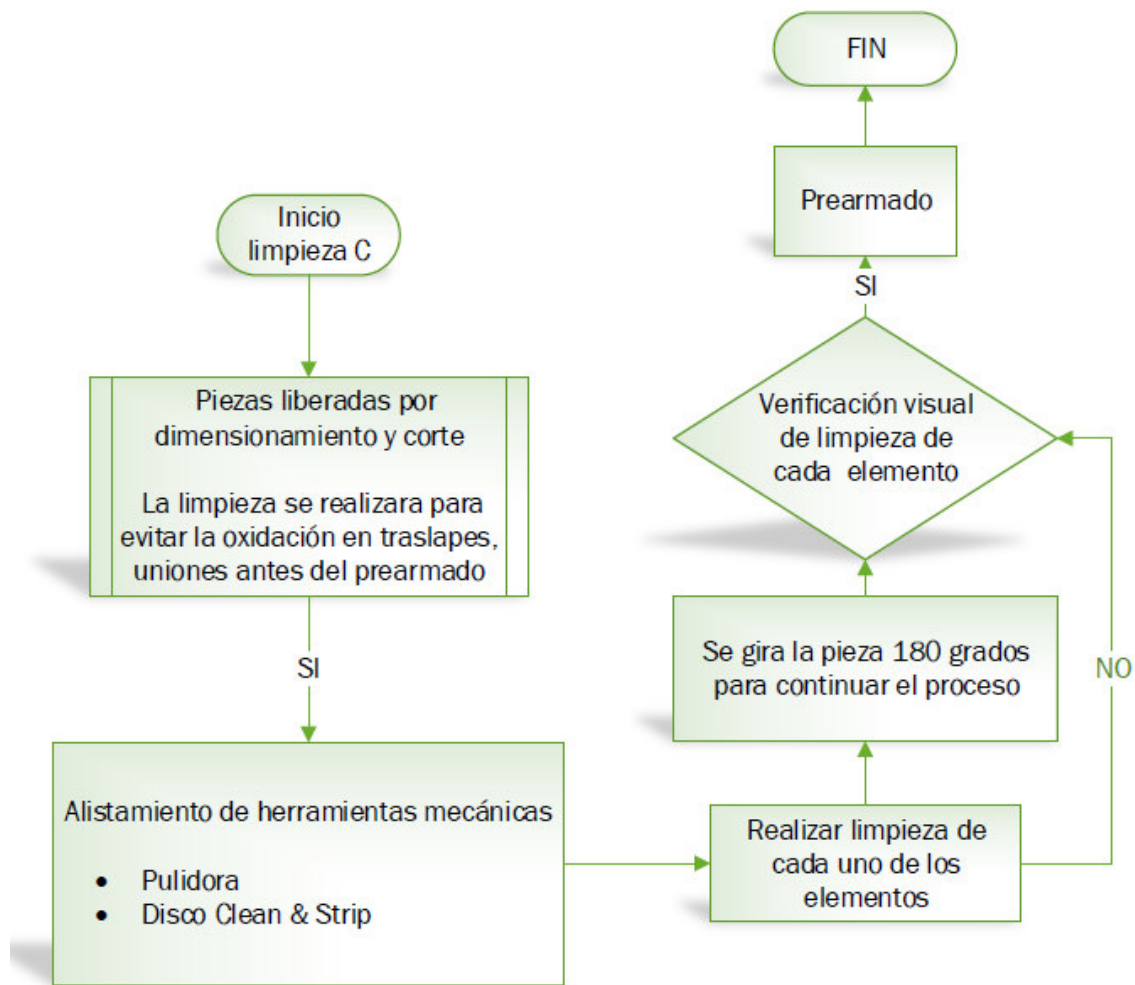


*Figura 25.* Descripción de la limpieza B, limpieza con solventes. Fuente, autor.

**4. Dimensionamiento y corte.** Después de la limpieza inicial con solventes, se plantea que las piezas que conformaran la estructura, sean llevadas al área de dimensionamiento y corte, para que se corten de acuerdo a los planos de fabricación.

**5. Limpieza C - limpieza con herramientas mecánicas.** Una vez el acero es cortado de acuerdo a las dimensiones del plano, se propone que sea sometido a un proceso de limpieza con

herramientas mecánicas y discos Clean & Strip, en los extremos de cada pieza, que son los lugares donde quedarán los empalmes, traslapes o uniones de dos o más elementos, en razón a que estas zonas después de ser unidas se imposibilitan para ser limpiadas, se busca garantizar la limpieza, al quitar capas sueltas de laminación, óxido y partículas extrañas. Este tipo de limpieza se detalla a continuación (ver figura 26).



*Figura 26.* Descripción de la limpieza C, limpieza con herramientas mecánicas. Fuente, autor.

**6. Pre-armado.** Cuando el material ha sido cortado y limpiado se plantea que sea transportado al área de pre armado en donde se realizara dicho proceso, se debe unir pieza por pieza según

planos de montaje con puntos de soldadura para ir formando los conjuntos solicitados en planos; se contempla que en este proceso el armador verifique que los traslapes queden bien enfrentados para evitar que se filtre humedad en estos lugares.

**7. Verificación de medidas.** Las medidas deben ser verificadas por el ingeniero residente de planta, quien será el responsable de inspeccionar y aprobar que las piezas cumplen con las dimensiones de acuerdo a los planos de la estructura a fabricar. Si las piezas cumplen con las medidas solicitadas se empieza el proceso de resoldar, si no cumplen con las dimensiones se debe realizar las modificaciones pertinentes de pre armado.

**8. Resoldar.** Una vez la estructura ha sido aprobada en cuanto a las dimensiones, el soldador, que debe ser una persona calificada, soldará cada una de las uniones de acuerdo al procedimiento establecido por la empresa; el soldador deberá entregar las soldaduras sin ninguna escoria; se plantea que el soldador autoevalúe el resultado de su trabajo (cordones de soldadura) para evitar reproceso por este tema.

**9. Pruebas líquidos penetrantes.** Este tipo de ensayo no destructivo se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados, estas pruebas se realizarán al azar, para determinar si la soldadura presenta porosidad agrupada, socavación, socavación de cordón, escorias, porosidad aislada o falta de fusión; de presentar alguno de los problemas antes mencionados la estructura debe ser devuelta para ser resoldada nuevamente.

**10. Limpieza D – limpieza final.** Dentro de la mejora en el proceso se considera que esta limpieza es la más importante y en la que se debe tener mayor cuidado para su ejecución. Se plantea que esta se realice en orden pasando el disco Clean and Strip XT por toda la estructura, sin descuidar ninguna pieza, este proceso se debe desarrollar minuciosamente, para que después de

quitar el polvo, la superficie presente un claro brillo metálico. Las áreas en las que se debe colocar mayor atención a medida que se desarrolla la limpieza son: los bordes filosos, perforaciones, empalmes, traslapes, uniones de más de dos elementos. El trabajador encargado tendrá una probeta o una imagen de comparación del grado de limpieza a la cual deberá llegar para garantizar la limpieza en toda la estructura (ver Figura 27).

Se considera importante que este proceso se realice en horas de la mañana, del mismo día en que se aplicará el recubrimiento, para garantizar que estos dos procesos se ejecuten consecutivamente, en razón a que el recubrimiento se debe aplicar en un tiempo no superior a 6 horas después de haberse realizado la limpieza final a la estructura. La limpieza final se detalla a continuación en la siguiente gráfica:

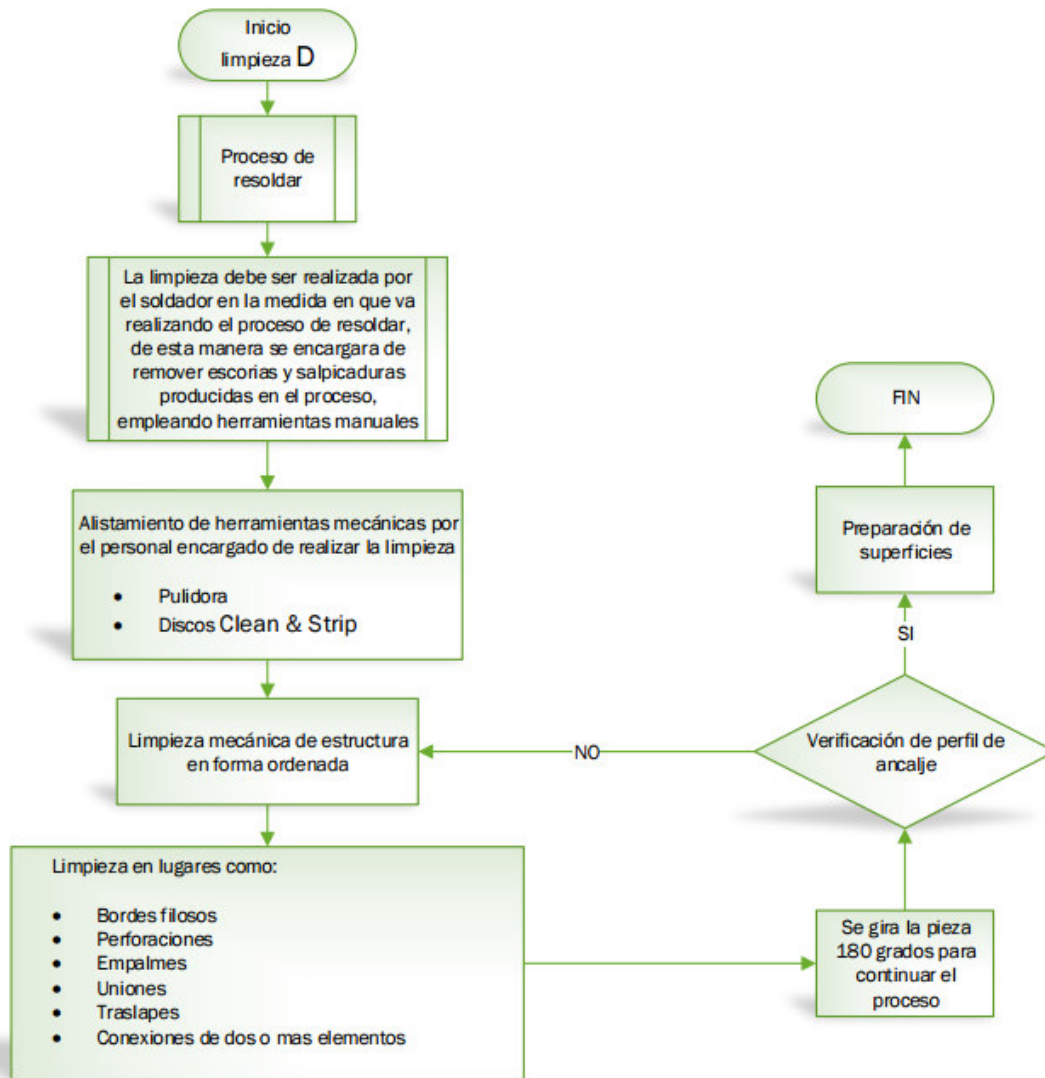


Figura 27. Descripción de la limpieza D, limpieza final para la estructura. Fuente, autor.

**11. Inspección visual y medición de perfil de anclaje.** El ingeniero residente de planta deberá hacer verificación visual del estado de la estructura a la que se le ha realizado limpieza final. Para ejecutar dicha inspección se propone que se compare el aspecto (coloración) de la misma con el



de la figura que se relacionan a continuación, siendo válida una estructura que alcance el grado A para BSP-5 (ver Figura 28)



**Figura 28.** Muestra de distintos grados de preparación de superficies. Esta imagen fue tomada de la página web de la UTP. Recuperado en <http://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/granallado-normas-preparacion-de-superficie.pdf>.(2016).

Como lo contempla NACE, La especificación de recubrimientos, (2007), se recomienda que “para aplicar el recubrimiento, la estructura tenga un perfil de rugosidad de entre 38 y 75 micrones (1.5 a 3.0 mils)” (p.18). Atendiendo la anterior premisa, se propone que el ingeniero residente verifique la rugosidad de la estructura empleando el rugosímetro y que apruebe la estructura para que se le aplique recubrimiento si se encuentra en el rango de las medidas antes mencionadas.

**12. Verificación de condiciones climáticas.** Para la aplicación del recubrimiento lo ideal es que las condiciones climáticas, de temperatura y humedad sean:

- La temperatura del aire sea mayor que 5° C y menor de 35 °C.
- La humedad relativa sea menor al 90%.

En razón a lo anterior antes de iniciar la preparación del recubrimiento, el ingeniero residente deberá verificar las condiciones climáticas, de no estar en los anteriores rangos se esperara a que dichas condiciones cambien.

**13. Verificación de condiciones de recubrimiento.** Para la preparación de los recubrimientos se debe verificar las condiciones en las que se encuentran, si no es óptimo su estado se deben desechar, solo se deben aplicar recubrimientos nuevos que no se hayan utilizado anteriormente ya que pueden ocasionar problemas de tonalidad e impurezas. El recubrimiento se debe rechazar si: las latas están viejas, oxidadas o sucias, si los envases han sido abiertos previamente, si la viscosidad de la pintura no es homogénea ya que esto pueden indicar asentamiento o si el recubrimiento está separado o gelatinizado.

**14. Preparación de recubrimiento.** Para determinar la cantidad de recubrimiento a preparar, se debe tener en cuenta (ver Figura 29)

- la superficie a recubrir, según se detalla en el anexo A (Área en metros cuadrados de elementos estructurales) y
- el espesor de película deseado para cada proyecto.

Se plantea que la cantidad de pintura a preparar se calcule empleando la siguiente formula, NACE (2007). Prácticas matemáticas, (p.15):

$$\text{Consumo de Material} = \frac{\text{Área (pie}^2 \text{ ó m}^2\text{)}}{\text{Rendimiento Práctico (galones o litros)}}$$

Ejemplo	
Imperial	Métrico
Los siguientes datos se presentan para un recubrimiento dado: EPS recomendado = 5 mils % sólidos por volumen = 45% El contratista debe aplicar este recubrimiento a 5.000 pies <sup>2</sup> (465 metros <sup>2</sup> ) y anticipa una pérdida del 10%. ¿Cuántos galones debe pedir el contratista?	Los siguientes datos se presentan para un recubrimiento dado: EPS recomendado = 125 micras % sólidos por volumen = 45% El contratista debe aplicar este recubrimiento a 500 metros cuadrados y anticipa una pérdida del 10%. ¿Cuántos litros debe pedir el contratista?
Rendimiento Teórico (pies <sup>2</sup> /gal) = $\frac{0,45 \times 1604}{5 \text{ mils}}$ = 144 pies <sup>2</sup> /gal	Proporción Teórica de Extensión (m <sup>2</sup> /L) = $\frac{0,45 \times 1000}{125 \mu\text{m}}$ = 3,6 m <sup>2</sup> /L
Rendimiento Práctico = 144 – (144 x 0,10) = 129,6 pies <sup>2</sup> /gal	Rendimiento Práctico = 3,6 – (3,6 x 0,10) = 3,24 m <sup>2</sup> /L
Material a pedir = $\frac{5000 \text{ pies}^2}{129,6 \text{ pies}^2/\text{gal}}$ = 38,58 galones	Material a pedir = $\frac{500 \text{ m}^2}{3,24 \text{ m}^2/\text{L}}$ = 154,32 litros
Pedido sensato = 39 galones	Pedido sensato = 155 litros

**Figura 29.**Ejemplo para determinar la cantidad de recubrimiento a aplicar. Fuente, NACE, Prácticas matemáticas, (2007), (p.16).

Una vez verificadas las condiciones antes mencionadas se debe proceder a preparar la cantidad de recubrimiento que se va a utilizar, la persona encargada de preparar la mezcla deberá respetar las medidas de disolvente y de pintura de acuerdo a la ficha técnica del producto estipulado en el contrato de cada proyecto.

Se propone que la preparación de la pintura inicie con la mezcla y homogenización del recubrimiento en el envase original, cada envase se deberá desocupar posteriormente en un recipiente más grande para mezclar la pintura a utilizar con el solvente.

Del solvente destinado a la mezcla, se proyecta que se use una parte para limpiar los galones de pintura desocupados y luego el residuo de la pintura y el solvente que se genera, se debe agregar a la mezcla preparada, para aprovechar el 100% del contenido de cada galón; adicionalmente se busca que los envases se almacenen limpios y no como material contaminado.

Para mezclar el solvente con el recubrimiento, se sugiere el uso de un mezclador eléctrico en razón a que los sedimentos deben combinarse uniformemente. Luego de realizar la anterior actividad el recubrimiento debe ser colado para evitar natas o grumos que puedan afectar la calidad y consistencia de la pintura.

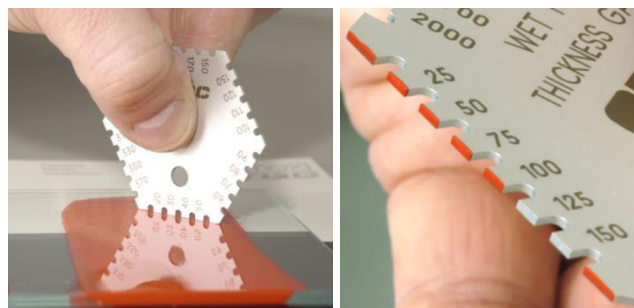
**15. Aplicación de recubrimiento.** Antes de iniciar la aplicación del recubrimiento se debe limpiar la estructura empleando un compresor o una bayetilla húmeda con solvente, para retirar el polvo que le hubiera podido caer a la estructura, después de haber realizado la limpieza final (limpieza D). Se plantea que la aplicación de la pintura se realice con equipo airles, ya que es ideal para aplicar pinturas en superficies pequeñas, medianas y grandes y se obtiene un mayor rendimiento por metro cuadrado como se observa (ver Figura 30).

## RENDIMIENTOS TÍPICOS SEGÚN EQUIPO DE APLICACIÓN

EQUIPO	m <sup>2</sup> /día
Brocha	65
Rodillo	120 a 260
Equipo de aire convencional	400 a 800
Equipo sin aire(airless)	600 a 1000

**Figura 30.** Rendimiento típico según el equipo empleado para la aplicación de recubrimiento. Fuente, SIKA, Manual de recubrimiento para metal, Apéndice, 2015, p. 160.

La aplicación del recubrimiento lo debe realizar una persona capacitada, que realice el rociado uniformemente, se propone que se utilicen medidores de peine (ver Figura 31) para ir verificando la cantidad de pintura aplicada. Adicionalmente se sugiere que se confirme el espesor con galgas para medir en húmedo y así garantizar que el recubrimiento sea uniforme y el indicado, según anexo B (tabla de relación película seca vs película húmeda).



**Figura 31.** Galgas para medir el espesor de la pintura. Recuperada en <http://www.directindustry.es/prod/tqc-bv/product-23214-1592017.html>, (2017).

**16. Curado del recubrimiento.** Se debe garantizar que la estructura permanezca si moverse el tiempo estipulado de curado (paso de líquido a sólido) por la ficha técnica del recubrimiento empleado para cada proyecto, para evitar daños en la estructura.

**17. Pruebas de espesores y adherencias.** Una vez la pintura está seca, el ingenio residente debe realizar inspección visual, pruebas de espesores y adherencia para garantizar que el recubrimiento cumpla con el espesor y que está bien aplicado.

Se debe realizar las lecturas pertinentes y verificación del espesor de película seca, la lectura debe ser superior a lo requerido en el contrato mediante un positector. Se sugiere la realización de pruebas mediante el método de cinta, el desprendimiento de fragmentos no debe superar el 1,6 mm. A continuación se muestra tabla de clasificación para medir la adhesión por prueba de cinta (NTC 811): (ver Figura 32)

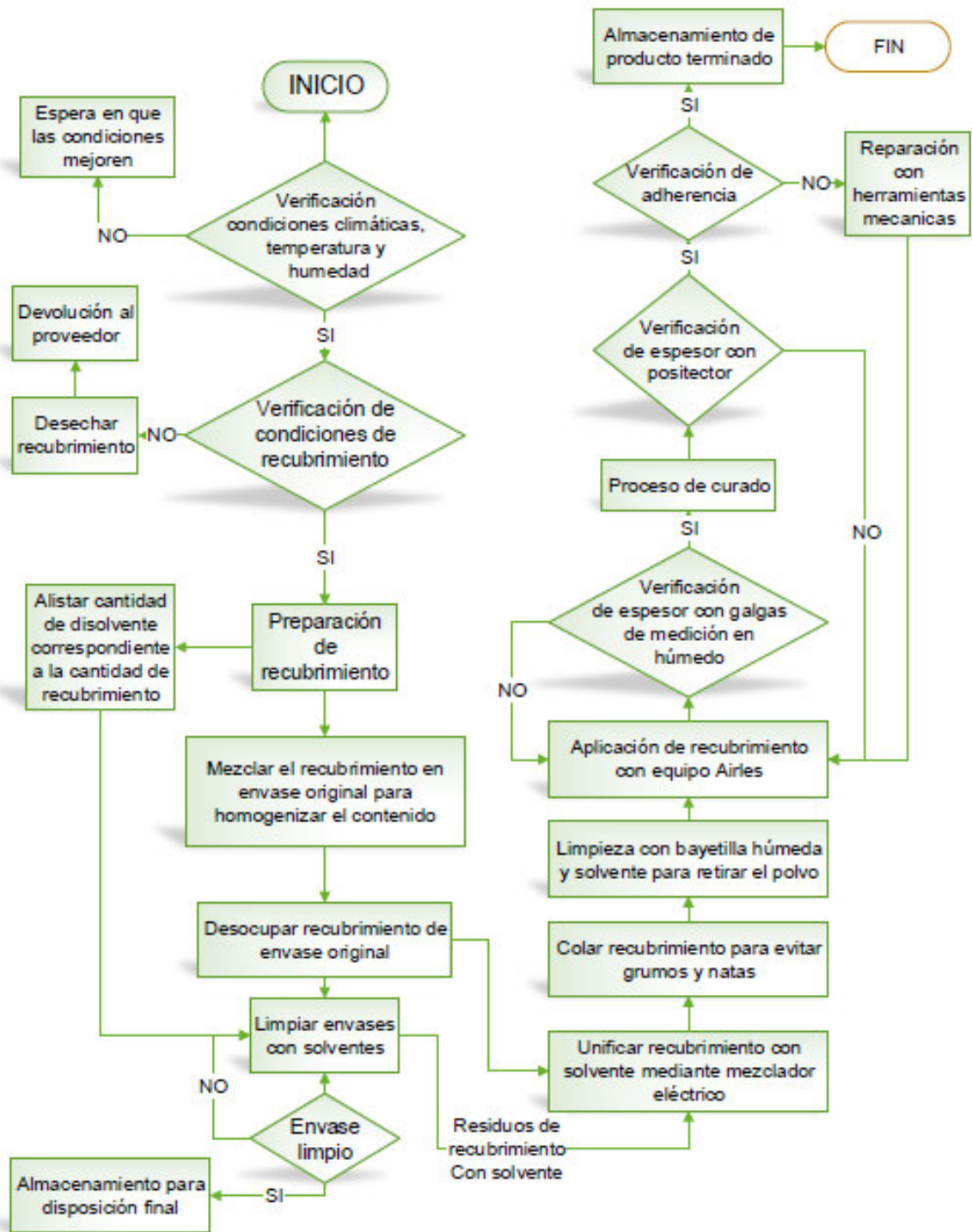
7.7 Se inspecciona el área del corte en X para verificar, primero, si el recubrimiento se ha desprendido del sustrato o de un recubrimiento previo, y segundo, el grado de adhesión de acuerdo con la siguiente escala:

5A	No hay peladura o desprendimiento
4A	Rastros de peladura o desprendimiento a lo largo de las incisiones o en su intersección
3A	Desprendimiento irregular a lo largo de la mayoría de las incisiones hasta de 1,6 mm en alguno de los lados
2A	Desprendimiento irregular a lo largo de la mayoría de las incisiones hasta de 3,2 mm en alguno de los lados
1A	Desprendimiento de la mayor parte del área de la X bajo la cinta
0A	Desprendimiento más allá del área de la X.

**Figura 32.** Clasificación NTC 811, utilizada para determinar la adhesión de un sistema de recubrimiento sobre un sustrato metálico. Recuperado en <https://es.scribd.com/doc/129940846/Norma-Tecnica-Ntc-811>, (2017).

**18. Almacenamiento de producto terminado.** Si las pruebas hechas al recubrimiento determinan, que este cumple con los requerimientos, se debe almacenar las piezas, para posteriormente ser transportadas a la obra donde van a ser instaladas. Se sugiere que la estructura no sea apilada (amontonada), que se almacene sobre estivas y que movilizarla se usen eslingas de poliéster para evitar defectos.

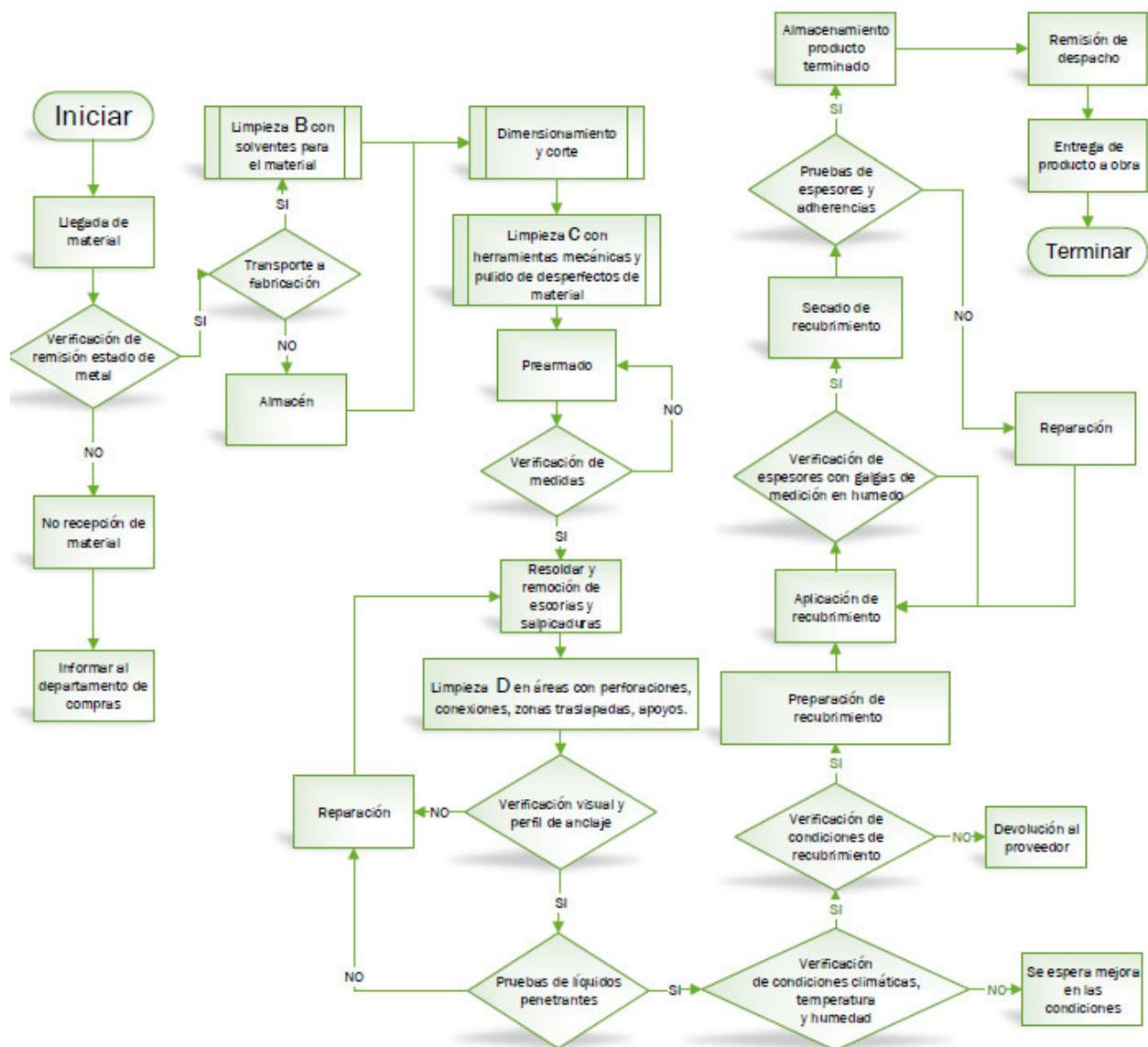
A continuación se presenta el flujo del proceso de recubrimiento propuesto (ver Figura 13)



**Figura 33.** Descripción del proceso de recubrimiento que se propone para la fabricación de estructura metálica. Fuente, autor.

**19. Remisión y entrega.** Cuando la estructura esta lista se debe realizar remisión de despacho para ser transportada y entregada a los ingenieros residentes responsables de cada una de las obras. Las remisiones se deben generar para control interno de lo fabricado y lo entregado.

En el grafico que se muestra a continuación se detalla el proceso de mejora propuesto (ver Figura 34).





**Figura 34.** Descripción del proceso de mejora para la fabricación de estructura metálica en JARCO SA. Fuente, autor.

En la tabla que se muestra en seguida se observa una descripción de los procesos, aspectos técnicos y responsables que se proponen:

**Tabla 20.** Detalle proceso de mejora.

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA PLANTA JARCO SA				
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	ASPECTO TÉCNICO	RESPONSABLE
1	<b>Recepción del material</b>	Se deben recibir los productos procedentes de fábricas y almacenes, estos se apilaran en el camión de transporte.	Verificar con la documentación que: - El pedido este conforme a orden de compra. - Dimensionamiento sea el solicitado. Se debe inspeccionar el estado de oxidación de acuerdo a la norma ISO 8501-1 grado A, grado B = ACEPTABLE grado C, grado D = DEVOLUCION DE MATERIAL	Almacenista
2	<b>Transporte</b>	El material se descargara por los ayudantes de planta, quienes serán los encargados de realizar esta tarea y de llevar el material con la utilización de un montacargas.	El material se llevará al área de dimensionamiento y corte para que ingrese al proceso de fabricación o a la zona de almacenamientos según corresponda.	Contratista
3	<b>Limpieza B</b>	limpieza con solventes: esta limpieza inicial se debe realizar para el retirar impurezas, grasas y las capas gruesas de óxido, esto se hará con un cincel antes para visualizar el estado del material en cuanto al estado de fabricación; la limpieza se deberá realizar con una impregnación del solvente mediante una brocha y a medida que se aplica se debe ir removiendo materiales grueso con un cepillo de alambre de mano para que la limpieza sea más efectiva, luego se deberá retirar el solvente y sus impurezas mediante la remoción con bayetilla y enjuague con solvente. Si la estructura tiene presencia de grasas se deberá aplicar desengrasante con ayuda de una brocha en zonas puntuales y retiro de las impurezas por medio de trapos.	Limpieza con solvente SSPC - SP1 Limpieza manual SSPC - SP2	Trabajadores
4	<b>Dimensionamiento y corte</b>	El material es debe cortar de acuerdo a los planos de fabricación.	Se deberá inspeccionar: piezas cortadas vs plano con el fin de verificar trabajo realizado. Cada pieza debe tener una medida y una marca específica.	Contratista y trabajador de área
5	<b>Limpieza C</b>	Una vez el acero sea cortado de acuerdo a las dimensiones del plano, deberá ser sometido a un proceso de limpieza con herramientas mecánicas en las partes de los extremos que son los lugares donde quedaran empalmes, traslapes o uniones entre dos o más elementos este proceso garantizará la limpieza, quitará las capas sueltas de laminación, el óxido y las partículas extrañas.	Limpieza con herramientas mecánicas SSPC - SP3, este tipo de limpieza se deberá realizar en los extremos de las piezas cortada para evitar que se enpalmen piezas sin limpiar.	Armador y Soldador
6	<b>Pre-armado</b>	Se deberá unir pieza a pieza de acuerdo a planos de montaje con puntos de soldadura para ir formando los conjuntos solicitados en planos.	Cada elemento tiene un ubicación en el conjunto, que se debe respetar de acuerdo a plano.	Armador
7	<b>Verificación de medidas</b>	Las medidas deberán ser verificadas por el ingeniero residente de planta, quien será el encargado de inspeccionar y aprobar que las piezas cumplan con las dimensiones de acuerdo a los planos de la estructura que se va a fabricar. Si las piezas cumplen con las medidas solicitadas serán llevadas a resoldar, si no cumplen con las dimensiones serán devueltas al área de pre armado.	Las medidas deberan coincidir con las medidas de plano, ya que cualquier modificación afectará el montaje e implicara reprocesos.	Ingeniero de planta
8	<b>Re-soldar</b>	La soldadura es el proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas, dicha tarea la realiza el soldador.	Aplicación de soldaduras de acuerdo al procedimiento estipulado por JARCO SA., el soldador debera limpiar cada cordon de soldadura para autoevaluar su trabajo y garantizar la limpieza del mismo.	Soldador
9	<b>Pruebas líquidos penetrantes</b>	Este tipo de ensayo no destructivo, se deberá realizar para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados.	De acuerdo a los requerimientos de cada proyecto se deberán realizar la prueba para tener evidencia que las soldaduras no presentan fallas, tales como: porosidad agrupada, socavación, socavación de cordón, escorias, porosidad aislada o falta de fusión.	Ingeniero de planta

10	<b>Limpieza D</b>	Esta limpieza es la más importante y en la cual se deberá pasar en orden el disco Clean and Strip po toda la estructura, esta limpieza debe hacerse de una manera mucho más minuciosa. Después de quitar el polvo, la superficie deberá presentar un claro brillo metálico a medida que va avanzando.	La coloración de la estructura despues de la limpieza se comparará visualmente con una probeta o un registro fotografico. Para ejecutar la limpieza se debe poner mayor atención en lugares como: bordes filosos, perforaciones, empalmes, traslapes, uniones de más de dos elementos.	Trabajadores y contratsta
11	<b>Inspección de limpieza y perfil de anclaje</b>	El ingeniero residente de planta deberá realizar verificación visual de la limpieza que se realice a cada pieza y realizar medición del perfil de anclaje.	Se debe realizar comparacion visual A SP-5 de limpieza vs la estructura limpiada, si la estructura cumple seguira el proceso de lo contrario se deberá realizar nuevamente la limpiza. El perfil de anclaje debe ser entre 38 y 75 micrones ó 1.5 a 3.0 mils.	Ingeniero de planta y contratista
12	<b>Verificación de condiciones climáticas</b>	Se debe realizar esta verificación para garantizar que la estructura y las condiciones climaticas se encuentren dentro de los parametros estipulados.	Húmedad relativa 90 % , temperatuta de la superficie 5 °C y 30 °C	Ingeniero de planta
13	<b>Verificación de condiciones de recubrimiento</b>	Antes de iniciar el mezclado, el trabajador deberá verificar y determinar que los recubrimientos no se vean dañados, si existe cualquier daño al envase del recubrimiento debe ser rechazado o si presenta determinadas características.	El recubrimiento será rechazado si presenta: Latas viejas, oxidadas o sucias. - Envases abiertos previamente. - Viscosidad de la pintura no es homogénea ya que esto pueden indicar asentamiento. - Los recubrimientos que parecen estar separados o gelatinizados	Trabajador y contratista
14	<b>Preparación de recubrimiento</b>	La cantidad de recubrimiento que se mezcle debe ser acorde a la cantidad de superficie a recubrir. En este proceso el trabajador deberá realizar mezcla y dilusión de recubrimiento.	Verificar cantidad de superficie de la pieza vs tabla de cantidades de pintura y solvente.  .Para este proceso se debe tener en cuenta: - El recubrimiento debe ser mezclado inicialmente en su envase original para homogenizar el contenido. -Mezclar todo el recubrimiento en un solo envase. -Limpiar el envase original con solvente para evitar desperdicios. -Realizar mezclado con herramientas mecanicas para nificar la mezcla. - Colar el recubrimiento para evitar natas e impurezas.	Ingeniero de planta  Trabajador / pintor
15	<b>Aplicación de recubrimiento con equipo airless</b>	Se propone emplear equipo Airless, ya que es una máquina ideal para la aplicación de pinturas en superficies pequeñas, medianas y grandes y con la que se obtiene un mayor rendimiento.	- El operador deberá realizar rociado uniforme. - Se deberá utilizar medidores de peine para ir verificando la cantidad de peine aplicado.	Trabajador
16	<b>Curado de recubrimiento</b>	Siempre que se aplique el recubrimiento se necesitará esperar un tiempo en el cual la pintura pasa de un estado líquido a un estado sólido (curado).	La estructura no deberá moverse hasta que el recubrimiento presente un estado solido ya que se puede dañar el trabajo anterior, se debe observar la ficha tecnica del recubrimiento empleado en cada proyecto.	contratista
17	<b>Verificación de espesores</b>	Se debe realizar las lecturas pertinente y verificar el espesor de película seca.	La lectura debe ser superior a lo requerido en el contrato, mediante un positector.	Ingeniero de planta
	<b>Verificación de adherencia</b>	Se deberá realizar las pruebas mediante el método de cinta.	El desprendimiento de fragmentos no desbe superar el 5%.	Ingeniero de planta
18	<b>Almacenamiento de producto terminado</b>	La estructura debe ser movilizada para esperar a ser trasportada.	- La estructura no debe ser apilada (amontonada). - Se debe dejar encima de estivas. - Al moverla la estructura se debe utilizar eslingas de polister para evitar defectos.	Ingeniero de planta
19	<b>Remisión y entrega</b>	Cuando la estructura este lista se deberá realizar remisión de despacho, para luego ser transportada y entregada a los ingenieros residentes responsables de las obras donde se van a instalar las piezas.	Se deberá generar remisiones para un control interno de lo fabricado y lo entregado.	Ingeniero de planta


Fuente, autor.


## 11. Formatos y medidas de control para el mejoramiento del proceso

Para garantizar que la mejora del proceso se sostenga y contribuya a la consecución de las metas organizacionales, es necesario establecer controles, entre las que encontramos:

### 11.1. Formatos.

Tabla 21. Formato denominado "reporte de inspección de limpieza"


		REPORTE DE INSPECCIÓN POR LIMPIEZA				FECHA INFORME:			
						FECHA INSPECCIÓN:			
		PÁG. No	1	DE:	2				
CLIENTE:						PROYECTO:			
LUGAR DE LA INSPECCIÓN:		PLANTA	CIUDAD:	MADRID	TIPO DE ESTRUCTURA A INSPECCIONAR:		PT - ANGULO - IP - PHR		
ELEMENTO INSPECCIONADO:		PT - ANGULO - IP - PHR							
TIPO DE LIMPIEZA:		SP1 SP2 SP3	LIMPIEZA CON SOLVENTES LIMPIEZA CO HERRAMIENTAS MANUALES LIMPIEZA CON HERRAMIENTAS MECANICAS		MÉTODO:				
ELEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL				VERIFICACIÓN					
				MATERIAL	CANTIDAD	UND	HERRAMIENTAS	ESTADO	CANTIDAD
Ropa de protección (overol)		Protección para cabeza		SOLVENTE			PULIDORAS		
Protección auditiva		Protección para manos		DESENGRASANTES			DISCOS DE COPA		
Protección visual		Protección de pies		TRAPO			DISCOS TRENADOS		
Protección respiratoria		Petos y mangas		BROCHAS			CLEAN & STRIP		
IDENTIFICACIÓN DEL ELEMENTO	ETAPA DE LIMPIEZA	INSPECCIÓN DE LIMPIEZA EN						RESPONSABLE DE LA INSPECCIÓN	
		BORDES FILOSOS	PERFORACIONES	EMPALMES	UNIONES	TRASLAPES	CONEXIONES DE MAS DE DOS		
NOTAS:									
OBSERVACIONES :									
TRABAJADOR				CONTRATISTA				INGENIERO DE PLANTA	


	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN POR LIMPIZA</b>				0		FECHA INFORME:	0 de Enero de 1900	
					FECHA INSPECCION:		0 de Enero de 1900		
FORMATO:	FRTC-2017-001	VER.	0		PÁG. No:	2	DE:	2	
CLIENTE:	0				PROYECTO:	0			
LUGAR DE LA INSPECCION:	PLANTA	CIUDAD:	MADRID	TIPO DE ESTRUCTURA A INSPECCIONAR:	PT - ANGULO - IP - PHR				
REGISTRO FOTOGRAFICO									
OBSERVACIONES :									
	TRABAJADOR			CONTRATISTA			INGENIERO DE PLANTA		

Fuente, autor.

Nota: Corresponde a una medida de control para garantizar una adecuada realización de las actividades para ejecutar la limpieza.

**Tabla 22. Formato denominado "reporte inspección de revestimiento"**

	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN REVESTIMIENTO</b>				FECHA INFORME:				
					FECHA INSPECCIÓN:				
	PÁG. No		1		DE:		2		
CLIENTE:				PROYECTO:					
LUGAR DE LA INSPECCIÓN:		PLANTA	CIUDAD:	MADRID	TIPO DE ESTRUCTURA A INSPECCIONAR:		PT - ANGULO - IP - PHR		
ELEMENTO INSPECCIONADO: PT - ANGULO - IP - PHR									
TIPO DE REVESTIMIENTO:		BASE ACABADO		ESTADO DEL RECUBRIMIENTO		BUENO MALO		CONTROL	SI/NO
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL			CONDICIONES CLIMATICAS	PARAMETRO	CONDICION	Mezcla envase original, unificación de contenido			
			TEMPERATURA	5°C a 35°C		Mezclado mecánico			
Ropa de protección (overol)	Protección para cabeza		HUMEDAD RELATIVA	menor al 90%		Retiro de impurezas con compresor de aire o trapo húmedo			
Protección auditiva	Protección para manos		PREPARACION	CANTIDAD	area / rendimiento	Colar mezcla			
Protección visual	Protección de pies		AREA A RECUBRIR m2			Aplicación ordenada y homogénea			
Protección respiratoria	Petos y mangas		RENDIMIENTO DE PINTURA			Verificación de película húmeda			
IDENTIFICACION DEL ELEMENTO	ETAPA DE LIMPIEZA	INSPECCION DE LIMPIEZA EN						RESPONSABLE DE LA INSPECCION	
		BORDES FILSOS	PERFORACIONES	EMPALMES	UNIONES	TRASLAPES	CONEXIONES DE MAS DE DOS		
NOTAS:									
OBSERVACIONES:									
PINTOR			CONTRATISTA			INGENIERO DE PLANTA			

	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN REVESTIMIENTO</b>				FECHA INFORME:		0 de Enero de 1900	
					FECHA INSPECCION:		0 de Enero de 1900	
					PÁG. No:	2	DE:	2
CLIENTE:	0			PROYECTO:	0			
LUGAR DE LA INSPECCION:	PLANTA	CIUDAD:	MADRID	TIPO DE ESTRUCTURA A INSPECCIONAR:	PT - ANGULO - IP - PHR			
REGISTRO FOTOGRAFICO								
OBSERVACIONES :								
	PINTOR			CONTRATISTA		INGENIERO DE PLANTA		

Fuente, autor.

Nota: Se propone para garantizar que se observen todas las condiciones de mejora que incluye entre otro: verificación de condiciones climáticas, de humedad, estado de la pintura, etc.

## **11.2. Otras medidas de control.**

Adicionalmente a los formatos propuestos es necesario observar:

- Que las personas encargadas de realizar cada una de las actividades se concientice de la importancia y asuman a cabalidad la ejecución de dichas actividades.
- Para garantizar la calidad del producto final, es necesario controlar la calidad del acero comprado, por lo que se debe verificar el grado de oxidación con el que llega dicho elemento, para iniciar el proceso de fabricación de la estructura metálica.
- Se debe garantizar que las diferentes limpiezas contempladas en el proceso de mejora, se realicen en el orden establecido.
- La inspección de las soldaduras, así como la realización de las pruebas se deben hacer tan pronto como se realice el resoldado de las piezas.
- Se debe aplicar la fórmula relacionada, para determinar la cantidad de consumo de material y atender el resultado al momento de preparar la pintura.
- Cuando sea necesario almacenar la estructura el ingeniero de planta debe verificar la realización de la actividad, para garantizar que el trabajo desarrollado no se dañe.



## CONCLUSIONES

- Los procesos de limpieza y recubrimiento ejecutados actualmente por JARCO S.A son básicos, carecen de controles y dependen del trabajador, por lo que se presenta un alto número de fallas en las estructuras como porosidades, oxidaciones, falta de adherencia entre otras.
- Las fallas en limpieza y recubrimientos generan sobrecostos de obra que se ven reflejados en las utilidades de la empresa así como demoras en la entrega del proyecto y aumento en el nivel de riesgos de accidentes al tener que trabajar en alturas.
- Las observaciones experimentales permitieron establecer que el disco Clean & Strip es el más recomendado para realizar los procesos de limpieza mecánica reduciendo los tiempos de ejecución y por tanto aumento de la productividad del proceso.
- La correcta elección del recubrimiento de acuerdo a los contenidos sólidos y el control de las condiciones climáticas pueden implicar el aumento o reducción de tiempos de ejecución de tareas y de curado de los mismos.
- La propuesta de mejoramiento diseñada para el proceso de limpieza y recubrimiento para JARCO S.A. se basa en la inclusión de limpieza en varias etapas del proceso así como controles y mediciones del recubrimiento con el fin de minimizar fallas que se reflejarán directamente en el aumento en las utilidades y en los tiempos de entrega.
- Los elementos a observar están recopilados en el anexo D denominado “GUIA PARA LA LIMPIEZA Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO EN LA ELABORACIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA”.

## RECOMENDACIONES

- Implementar la propuesta de mejora desarrollada para la fabricación de estructura metálica, que involucra el mejoramiento a los procesos de limpieza y aplicación de recubrimiento.
- Se recomienda a la empresa realizar un control de inventarios, el cual cumpla con los requerimientos de tiempos, ya que gran parte de los retrasos en el proceso de fabricación y montaje de la estructura producida se da por este tema.
- Se sugiere inspeccionar la materia prima recibida, esta revisión debe ser de forma rigurosa, para controlar el grado de oxidación y facilitar el proceso de limpieza, ya que a mayor grado de oxidación, mayor tiempo de tareas.
- Es necesario que el personal sea capacitado y motivado constantemente, ya que el conocimiento y la buena actitud de cada trabajador genera la reducción en los defectos y aumento de la calidad de los productos.
- Se recomienda la utilización del recubrimientos SIGMACOVER TM 350, de la marca PPG “Protective & Marine Coatings Bringing innovation to the Surface”, ya que contiene mayor cantidad de contenidos solidos, y por el rendimiento esperado.

## Referencias

Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión, NACE International (2007). Capítulo 1.2. La Corrosión y el Control de la Corrosión. *Programa de Certificación de Inspectores de Recubrimientos, Nivel I*(p. 1, 8, 20, 21).

Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión, NACE International (2007). Capítulo 1.3 Introducción a los Recubrimientos. *Programa de Certificación de Inspectores de Recubrimientos, Nivel I*(p. 1 – 3, 10 - 14).

Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión, NACE International (2007). Capítulo 1.5. La especificación de recubrimientos. *Programa de Certificación de Inspectores de Recubrimientos, Nivel I*(p. 18).

Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión, NACE International (2007). Capítulo 2.6. Descripción General de la Preparación de la Superficie. *Programa de Certificación de Inspectores de Recubrimientos, Nivel I*(p. 28, 32, 33, 35 - 40).

Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión, NACE International (2007). Nivel 1. Practica de matemáticas. *Programa de Certificación de Inspectores de Recubrimientos, Nivel I*(p. 12, 15, 16).

Arquitectura + acero (2016). *Corrosión*. Recuperado en <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/corrosion>.

Direct Industry. (2017). Recuperado en <http://www.directindustry.es/prod/tqc-bv/product-23214-1592017.html>.

Escuela de Ingenierías Industriales. (2017). *Tablas perfiles*. Recuperado en [http://www.eii.uva.es/reic/RMgrado/docs\\_varios/tablas\\_perfiles.pdf](http://www.eii.uva.es/reic/RMgrado/docs_varios/tablas_perfiles.pdf). Área en metros cuadrados de elementos estructurales.

Google Maps. (2017). *Datos de mapas*. Fuente, <http://www.google.com/maps>.

Google Maps. (2017). *Datos de mapas*. Recuperado de <https://www.google.com.co/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Madrid+Cundinamarca>.

Gutiérrez W., Olaya J. y Torres M. (2015). Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65. *Scientia et Technica Año XX, vol 20 (3)*, 217 -224.

JARCO S.A. (2016). *Quienes somos*. Recuperado de <http://www.jarcosa.com/quienes-somos.html>.

Jiménez H. y Amaya C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 22 (2)*, 263-277.

Madrid Cundinamarca. (2017). *Información general*. Recuperado en [http://madrid-cundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://madrid-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml).

Pérez Fernando de Velasco J.A. (2009). *Gestión por procesos*. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=koSkh64nRb4C&oi=fnd&pg=PA13&dq=gestion+por+procesos&ots=7QTTzk4sUn&sig=AqWGBPEXT2rNqUvRQ46t7kPBorc#v=onepage&q=gestion%20por%20procesos&f=false>

Ramón M. (2015). Inspección y control de calidad en conexiones soldadas de miembros estructurales de acero del edificio Torre Piamonte (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.

Scribd. (2017). Norma Técnica NTC 811. Recuperado en <https://es.scribd.com/doc/129940846/Norma-Tecnica-Ntc-811>.

Tecnología en aire y aspersiones S.A. (2017). Recuperado en <http://equiposairless.mx/>.

SIKA. (2015). Apéndice. *Manual de recubrimiento para metal*. (p.160).

Tecnología en aire y aspersiones S.A. (2017). Recuperado en <http://equiposairless.mx/>.

Real academia de la lengua española, RAE, (2016). Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=P97FGQO>.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2017). *Bogotá Características*. Recuperado en <http://www.udistrital.edu.co/universidad/colombia/bogota/caracteristicas>.

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC (2017). NSR-10 – Capítulo F.2 – *Estructuras de acero con perfiles laminados, armados y tubulares estructurales*. Recuperado en [http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10\\_Titulo\\_F.pdf](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_F.pdf)

Universidad Tecnológica de Pereira, UTP (2016). Granallado norma de preparación de superficies. Recuperado de <http://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/granallado-normas-preparacion-de-superficie.pdf>.

## **ANEXOS**