

Estandarización del proceso de estañado electrolítico para la empresa Mecánicos Unidos S. A. S.

Melyssa Carolina Mora Osma

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniería Química

Director

Dionisio Antonio Laverde Cataño

Doctor en Ingeniería Industrial

Codirector

Mauricio Rincón Ortiz

Doctor en Ciencia y Tecnología, Mención Materiales

Codirector / Tutor

Sebastián Barrientos Londoño

Ingeniero de Producción

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

**Contenido**

Resumen..... 7

Abstract ..... 8

Introducción ..... 9

1. Descripción de la empresa..... 11

2. Marco teórico..... 13

3. Objetivos..... 15

    3.1 Objetivo general..... 15

    3.2 Objetivos específicos..... 15

4 Descripción metodológica ..... 16

    5.1. Fase 1 ..... 17

    5.2. Fase 2 ..... 18

    5.3. Fase 3 ..... 20

5 Resultados..... 21

6 Conclusiones..... 41

7 Recomendaciones ..... 43

Referencias bibliográficas..... 44

Apéndices..... 46

**Figuras**

Figura 1. *Procesos operativos de la empresa MU Mecánicos Unidos.* ..... 12

Figura 2. *Ciclo de estañado electrolítico.* ..... 14

Figura 3. *Metodología implementada para estandarizar el proceso de estañado electrolítico.* .. 16

Figura 4. *Estructuración de un proceso según la norma ISO 9001 del 2019.* ..... 17

Figura 5. *Rutas de la fase 2 para la estandarización del proceso.* ..... 19

Figura 6. *Ciclo de formación basado en la norma ISO10015.* ..... 20

Figura 7. *Necesidades de mejora identificadas durante las entrevistas.* ..... 24

**Tablas**

Tabla 1. *Criterios para valorar el grado de estandarización de los procedimientos*..... 21

Tabla 2. *Resultados de la evaluación realizada en agosto 2020 a los formatos de control y seguimiento.* ..... 22

Tabla 3. *Resultados de la evaluación realizada en agosto 2020 a manuales de mantenimientos y prueba de calidad.* ..... 23

Tabla 4. *Resultados de la evaluación realizada en agosto 2020 a los diagramas y manuales de procedimientos.*..... 23

Tabla 5. *Listado de problemas para la creación del manual de acción.* ..... 25

Tabla 6. *Listado de posibles causas de los problemas para la creación del manual de acción.* . 25

Tabla 7. *Indicadores de seguimiento para el proceso de estañado electrolítico*..... 31

Tabla 8. *Documentación referente a formatos de control y seguimiento.* ..... 31

Tabla 9. *Documentación referente a diagramas y manuales de procedimientos.* ..... 32

Tabla 10. *Documentación referente a manuales de mantenimientos y prueba de calidad.* ..... 33

Tabla 11. *Problemas en el recubrimiento de piezas procesadas por estañado electrolítico – 2020.*  
..... 34

Tabla 12. *Resultados de la evaluación realizada en marzo 2021 a los formatos de control y seguimiento.* ..... 35

Tabla 13. *Resultados de la evaluación realizada en marzo 2021 a manuales de mantenimientos y prueba de calidad.* ..... 36

Tabla 14. *Resultados de la evaluación realizada en marzo 2021 a los diagramas y manuales de procedimientos.*..... 36

Tabla 15. *Criterios de clasificación para los resultados de la evaluación.* ..... 37

Tabla 16. *Clasificación en áreas de las preguntas de la evaluación diagnóstica del personal operativo.* ..... 38

Tabla 17. *Resultados de la evaluación diagnostica.*..... 38

Tabla 18. *Clasificación en áreas de las preguntas de la evaluación formativa y sumativa del personal operativo.* ..... 39

Tabla 19. *Resultados de la evaluación formativa y sumativa.* ..... 39

**Apéndices**

Apéndice A. *Preguntas de entrevista al personal del proceso de estañado electrolítico.* ..... 46

Apéndice B. *Rangos de variación para la evaluación en las concentraciones en el tanque de estañado.* ..... 46

Apéndice C. *Rangos de variación para la evaluación de los aditivos en el tanque de estañado.*  
..... 47

Apéndice D. *Rangos de variación para la evaluación de tiempos de residencia.* ..... 47

Apéndice E. *Perfil del operario de estañado electrolítico.* ..... 48

Apéndice F. *Cronogramas de capacitación al personal operativo y líder del proceso.* ..... 49

Apéndice G. *Formato para la evaluación diagnóstica del personal operativo.* ..... 50

Apéndice H. *Formato para la evaluación diagnóstica a operarios líderes del proceso.* ..... 51

Apéndice I. *Evaluación formativa y sumativa.* ..... 52

Apéndice J. *Cronograma aprobado para el desarrollo de la práctica.* ..... 53

Apéndice K. *Pareto de reprocesos por pieza estañado electrolítico.* ..... 55

Apéndice L. *Registro de observación del proceso de estañado electrolítico.* ..... 55

### Resumen

Título: Estandarización del proceso de estañado electrolítico para la empresa Mecánicos Unidos S. A. S.\*

Autor: Melyssa Carolina Mora Osma\*\*

Palabras Clave: estandarización, estañado, electrolítico.

Descripción: MU Mecánicos Unidos S. A. S. tiene como propósito brindar experiencias extraordinarias en la cocina a sus clientes con cada uno de sus productos, su producto insignia desde hace 80 años son los molinos manuales de grano estañados. El presente proyecto tuvo como objetivo estandarizar el proceso decisivo en la producción del molino, el estañado electrolítico; debido a que, a pesar de su antigüedad, contaba con poca documentación y carecía de registros históricos apropiados para realizar un seguimiento al proceso, ocasionando alta variabilidad en sus operaciones, dificultando la capacitación de los operarios y la toma de decisiones.

La práctica se dividió en tres momentos, definición del estado actual del proceso, normalización y documentación de todas las actividades operativas, difusión de los resultados y formación del personal operativo. Actualmente la empresa cuenta con una documentación completa y estandarizada del proceso, logrando: evitar variaciones en la operación, reducir posibles accidentes y establecer un punto de partida clave para las actividades de mejora continua.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Pregrado Ingeniería Química. Director: Dionicio Antonio Laverde Cataño. Doctor en Ingeniería Industrial. Codirector: Mauricio Rincón Ortiz. Doctor en Ciencia y Tecnología, Mención Materiales. Codirector / Tutor: Sebastián Barrientos Londoño. Ingeniero de Producción.

**Abstract**

Title: Estandarización del proceso de estañado electrolítico para la empresa Mecánicos Unidos S.

A. S.\*

Author: Melyssa Carolina Mora Osma\*\*

Key Words: estandarización, estañado, electrolítico.

Description: MU Mecánicos Unidos S. A. S. tiene como propósito brindar experiencias extraordinarias en la cocina a sus clientes con cada uno de sus productos, su producto insignia desde hace 80 años son los molinos manuales de grano estañados. El presente proyecto tuvo como objetivo estandarizar el proceso decisivo en la producción del molino, el estañado electrolítico; debido a que, a pesar de su antigüedad, contaba con poca documentación y carecía de registros históricos apropiados para realizar un seguimiento al proceso, ocasionando alta variabilidad en sus operaciones, dificultando la capacitación de los operarios y la toma de decisiones.

La práctica se dividió en tres momentos, definición del estado actual del proceso, normalización y documentación de todas las actividades operativas, difusión de los resultados y formación del personal operativo. Actualmente la empresa cuenta con una documentación completa y estandarizada del proceso, logrando: evitar variaciones en la operación, reducir posibles accidentes y establecer un punto de partida clave para las actividades de mejora continua.

---

\* Degree Work

\*\* \*\* Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Undergraduate Chemical Engineering. Director: Dionicio Antonio Laverde Cataño. Doctor of Industrial Engineering. Co-director: Mauricio Rincón Ortiz. Doctor in Science and Technology, Mention Materials. Co-director / Tutor: Sebastián Barrientos Londoño. Production Engineer.

## Introducción

La galvanotecnia permite recubrir un material eléctricamente conductor con una capa delgada de metal mediante la deposición electrolítica; esta técnica se utiliza en muchos campos para incrementar el valor o la calidad de una superficie, algunos de los factores a controlar durante la electrodeposición son: la naturaleza y estado superficial del cátodo (metal-base), la densidad de corriente aplicada, la concentración de iones metálicos y de iones hidrógeno (pH), la agitación del electrolito, la temperatura del electrolito y los agentes aditivos.

Teniendo en cuenta el alto número de variables que intervienen en este proceso, es fundamental tener estandarizadas todas las etapas, con la intención de mitigar incertidumbres, sobrecostos y errores de operación que puedan poner en peligro la seguridad de la planta, garantizando además la eficiencia y calidad a lo largo del sistema.

La máquina de moler o molino es uno de los utensilios de cocina más tradicionales, éste se fabrica usualmente de hierro gris fundido. Con el fin de proteger el molino de la oxidación a causa de la humedad y los productos de limpieza a los que se encuentra expuesto durante su uso; se utiliza un recubrimiento de estaño por inmersión en caliente para el cuerpo (pieza principal) y galvanotecnia para los demás componentes, conservándolo en óptimas condiciones a lo largo de su vida útil.

La planta de producción de Mecánicos Unidos S. A. S. cuenta con un sistema de estañado electrolítico que procesa 5 964 526 piezas para molinos al año; el proceso tenía poca documentación y carecía de registros históricos apropiados para realizar un seguimiento eficaz, ocasionando alta variabilidad en sus operaciones. Por lo anterior, la empresa decidió estandarizar, normalizar y documentar sus actividades, todo esto con base en los principios científicos, la

experiencia de la empresa, la resolución 4142 (Ministerio de Salud y Protección Social, 2012), y la normativa ISO 9001 (Organización Internacional para la Estandarización, 2015).

En cuanto a la estructura de este informe, en el primer apartado se describe brevemente la labor de la empresa, su trayectoria y algunas generalidades; después se presentan los principios científicos e ingenieriles necesarios para la comprensión del proyecto; luego se enuncian los objetivos de la práctica y se expone en detalle la metodología implementada para la estandarización del sistema de galvanotecnia (preparación química de la superficie, estañado electrolítico, postratamiento, secado e inspección de calidad). Finalmente se presentan los resultados, las conclusiones del proyecto y las recomendaciones realizadas a la empresa.

## 1. Descripción de la empresa

MU Mecánicos Unidos S. A. S. es una empresa familiar colombiana creada en la ciudad de Itagüí, Antioquia, en el año de 1939, para producir soldados de plomo y crucifijos. Hoy, cuenta con 440 empleados, su campo de acción está en la industria de la fundición y metalmecánica, particularmente el diseño, desarrollo, fundición y acabado de productos de hierro de la línea hogar Victoria y la línea industrial. Los procesos operativos de la empresa, expuestos en la figura 1 se dividen en cuatro áreas: fundición, pulido, pintura y MAE (mecanizado, acabado y ensamble).

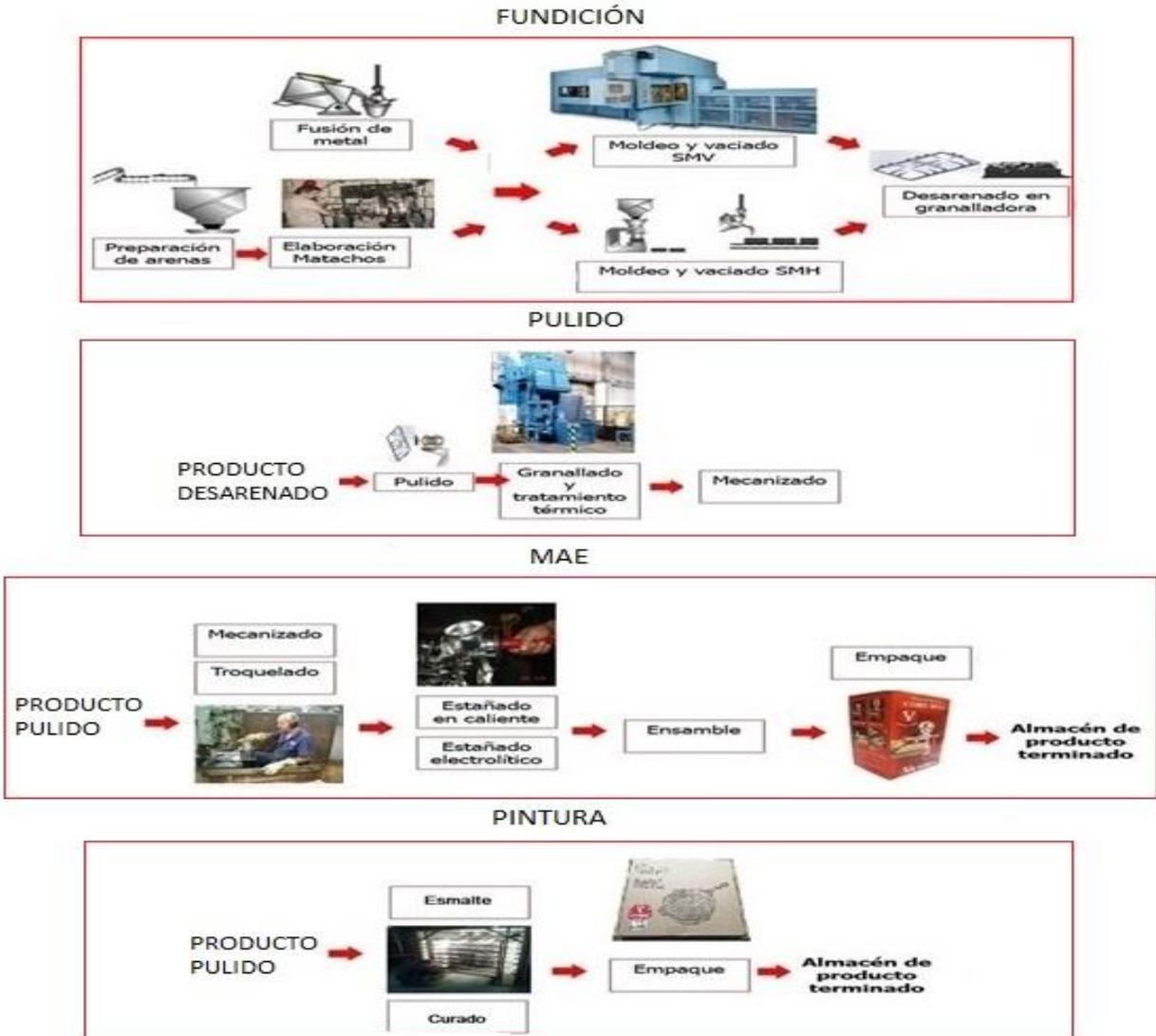
La línea hogar Victoria produce molinos para granos y carne, planchas para asar, sartenes y piezas enfocadas en servicio a la mesa principalmente; en cuanto a la línea industrial se orienta a la fabricación de parrillas, gasodomésticos, piezas para maquinaria, entre otros. El año pasado la planta fundió 9 605 819 kilogramos de hierro, procesó 9 099 217 piezas y empacó 1 957 334 productos en el periodo comprendido entre junio de 2020 a mayo de 2021; todos los productos que fabrica Mecánicos Unidos S. A. S. participan en el mercado nacional y de exportación en más de 32 países, para clientes como Haceb, Challenger, Indusel, Big Green Egg, Unión Ichicawa, Almacén la palma y Creative Home.

La política integrada de gestión promueve la mejora continua en todos los procesos a través de su sistema de gestión y la responsabilidad social, respetando el medioambiente, implementando como un hábito la seguridad y salud en el trabajo, fomentando el comercio seguro, usando los recursos de manera eficiente y eficaz, cumpliendo los requisitos normativos y legales, entre otros aplicables para lograr la satisfacción del cliente interno y externo (MU, 2021).

**Figura 1.**

*Procesos operativos de la empresa MU Mecánicos Unidos.*

Nota: Adaptado de MU Mecánicos Unidos (2021).



## 2. Marco teórico

El estañado electrolítico se remonta a 1930 cuando se desarrolló con el fin de mejorar las características de los productos y evitar la corrosión de un material base; ha sido ampliamente utilizado desde entonces en la industria electrónica, alimenticia, aeroespacial, entre muchas otras. Según William Cubberly (1989) el estaño proporciona un revestimiento no tóxico, protector y decorativo.

El hierro fundido es uno de los materiales más usados en la industria gracias a su resistencia mecánica, y como la mayoría de los metales es susceptible a oxidarse, esto exige utilizar algún tipo de recubrimiento para aislarlo del medio y evitar que se deteriore por corrosión. El recubrimiento debe ser homogéneo, con brillo uniforme, alta adherencia y espesor mínimo (definido según el índice de servicio), pues en caso de presentar poros, desprendimientos o defectos, el material base quedaría expuesto y se corroería rápidamente.

Según la NACE (2014) la corrosión es el deterioro de un material, en general de un metal, o sus propiedades debido a una reacción con el medio ambiente; según Cortez Álvarez (2014), elegir el tipo de protección más adecuado para retrasar el proceso de corrosión en las piezas, exige primeramente estudiar el material a proteger en cuanto a composición, estructura química y estado superficial; es decir, la porosidad, rugosidad, grietas u orificios. Posteriormente es importante conocer la naturaleza del medio al que será expuesta la pieza considerando su composición, oxígeno disuelto, índice de acidez y temperatura.

Uno de los métodos de protección más usado en superficies metálicas son los recubrimientos metálicos por medio electrolítico, que consiste en hacer pasar una corriente eléctrica entre dos electrodos conductores conectados a un generador de corriente directa, el ánodo en el polo positivo y el cátodo en el polo negativo, a través de un medio conductor de iones o

electrolito. La corriente eléctrica induce una reacción de electrólisis, considerada como el conjunto de dos medias reacciones, una oxidación anódica y una reducción catódica (Cortez Álvarez, 2014).

Para que la electrodeposición sea exitosa debemos garantizar que la pieza a proteger esté limpia y libre de óxidos, para lograr una adecuada adherencia del recubrimiento, por tanto, es necesario someter la pieza a un preacondicionamiento como se expone en la figura 2. Igualmente es fundamental garantizar las condiciones óptimas de la relación de área entre el ánodo y el cátodo, la densidad de corriente catódica; la agitación; la concentración de iones metálicos; la conductividad del electrolito; el pH; la temperatura y el tiempo de deposición.

**Figura 2.**

*Ciclo de estañado electrolítico.*



### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Estandarizar el proceso de estañado electrolítico de los molinos Victoria, asegurando la calidad del recubrimiento en cuanto adherencia, brillo y espesor.

#### **3.2 Objetivos específicos**

3.2.1 Evaluar los procedimientos, instructivos y métodos que se implementan actualmente en la operación de estañado electrolítico en la empresa Mecánicos Unidos S. A. S.

3.2.2 Proponer un plan de acción para atender problemáticas comunes que disminuyen la calidad superficial (adherencia, brillo y espesor) del estañado electrolítico en la empresa Mecánicos Unidos S. A. S.

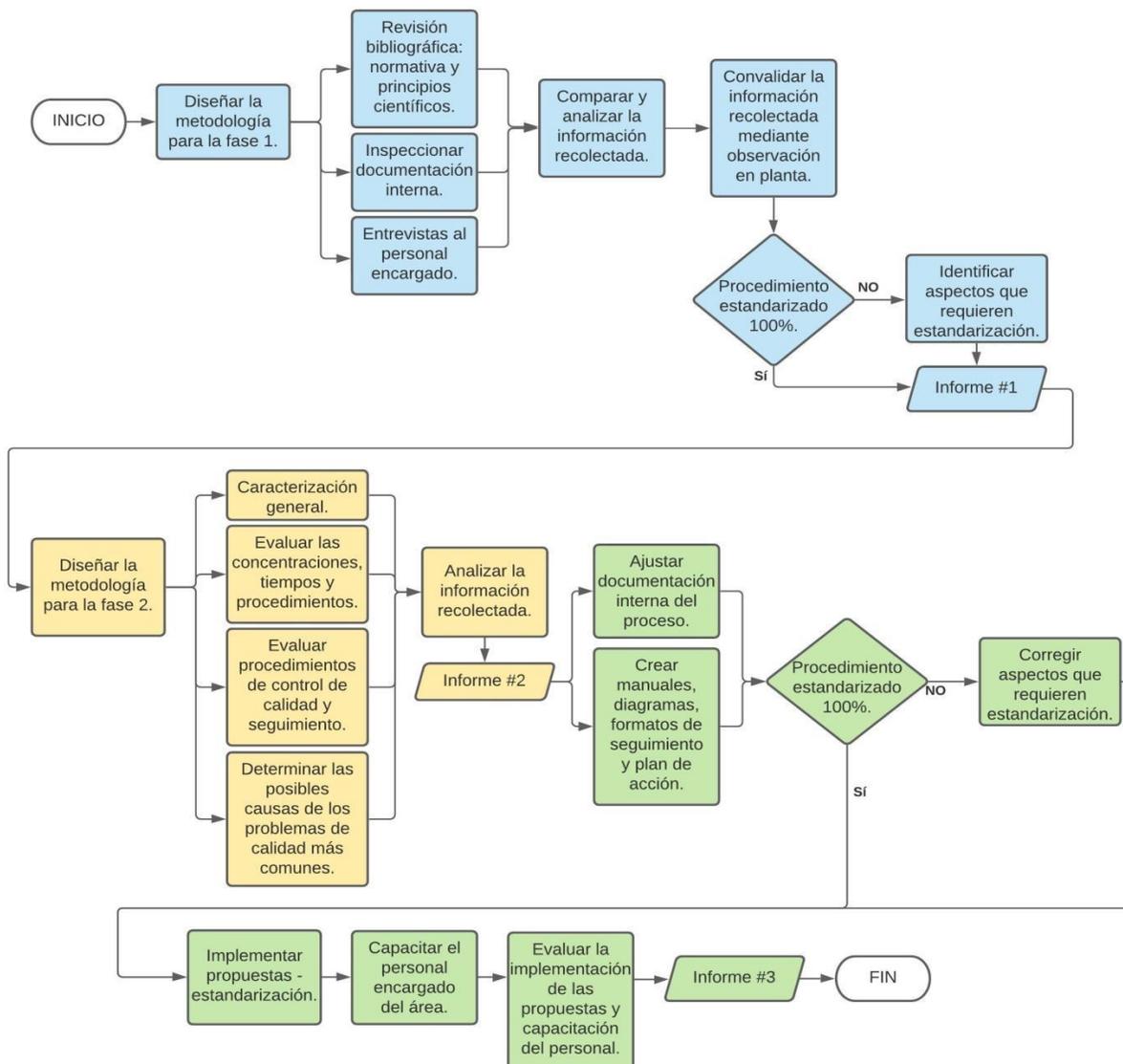
3.2.3 Ajustar la documentación interna del proceso de estañado electrolítico en la empresa Mecánicos Unidos S. A. S.

### 4 Descripción metodológica

Esta práctica industrial se llevó a cabo durante seis meses y se dividió en tres fases, en la figura 3 se describe la metodología implementada para estandarizar el proceso de estañado electrolítico, detallando las actividades de la fase 1 en azul, las de la fase 2 en amarillo y en verde las de la fase 3.

**Figura 3.**

*Metodología implementada para estandarizar el proceso de estañado electrolítico.*



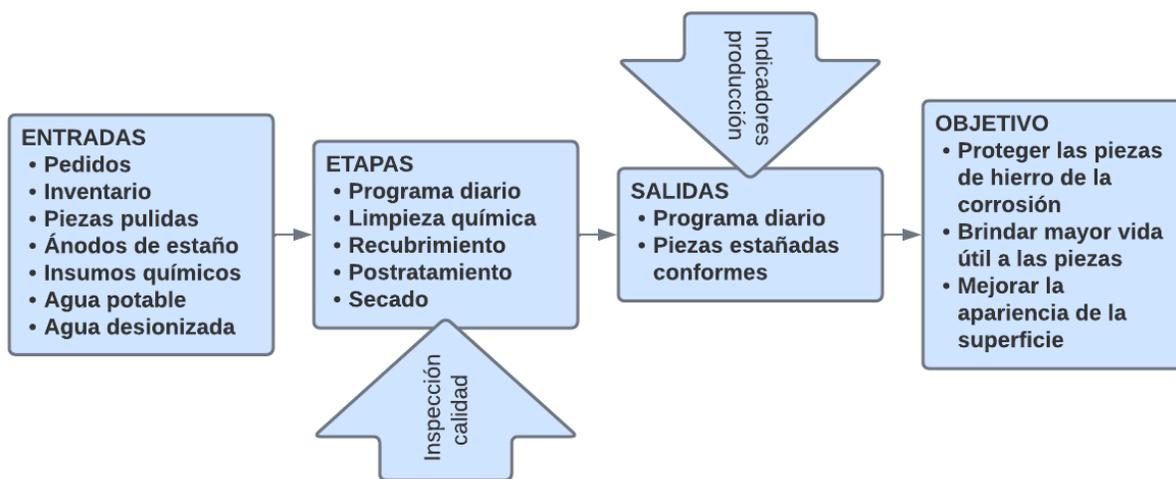
**5.1. Fase 1**

El diagnóstico de la primera fase se realizó de forma exploratoria y descriptiva, para consolidar la información necesaria que permitió, estudiar y precisar el estado actual de estandarización, debilidades y fortalezas del proceso. Se tomó como referente la norma ISO9001 que especifica las partes que deben alinearse para documentar un proceso, estas se muestran en la figura 4.

**Figura 4.**

*Estructuración de un proceso según la norma ISO 9001 del 2019.*

Nota: Adaptado de Alzate (2011).



Inicialmente se llevó a cabo una revisión bibliográfica para detallar los parámetros críticos en la aplicación de recubrimientos electrolíticos, y tener un referente a la hora de analizar la documentación de las entradas y salidas, procedimientos de cada una de las etapas, mantenimientos, controles de calidad e indicadores de gestión con los que contaba la empresa a la fecha. Asimismo, se realizaron visitas constantes a la planta de producción enfocadas a identificar los hechos (funciones, tareas y actividades) sustentados en la documentación, registros y archivos revisados.

Para complementar la información obtenida por medio de las observaciones en planta, se diseñó y aplicó una entrevista semiestructurada al personal encargado del área de estañado electrolítico (apéndice A), orientada a identificar las necesidades de mejora de manera individual y como equipo de trabajo; este tipo de entrevista ofreció un grado de flexibilidad aceptable, conservando la suficiente uniformidad para alcanzar interpretaciones acordes con los propósitos de la práctica. Se entrevistaron cuatro operarios y un líder, que son el 100 % del personal que coordina y opera esta área, las entrevistas se grabaron (sólo audio) con el consentimiento de cada uno para facilitar la digitalización de las respuestas.

Finalmente, la información recolectada durante la inspección se consolidó por medio del método de tabulación en la herramienta ofimática Microsoft Excel; para presentar un informe que sirvió de entrada a la fase 2, donde se diseñó la propuesta de estandarización.

## **5.2. Fase 2**

Esta fase tuvo como fin caracterizar el proceso general y recolectar información base para la elaboración del plan de acción, por lo anterior se enfocó en determinar cómo se relacionan los diversos fenómenos de estudio entre sí.

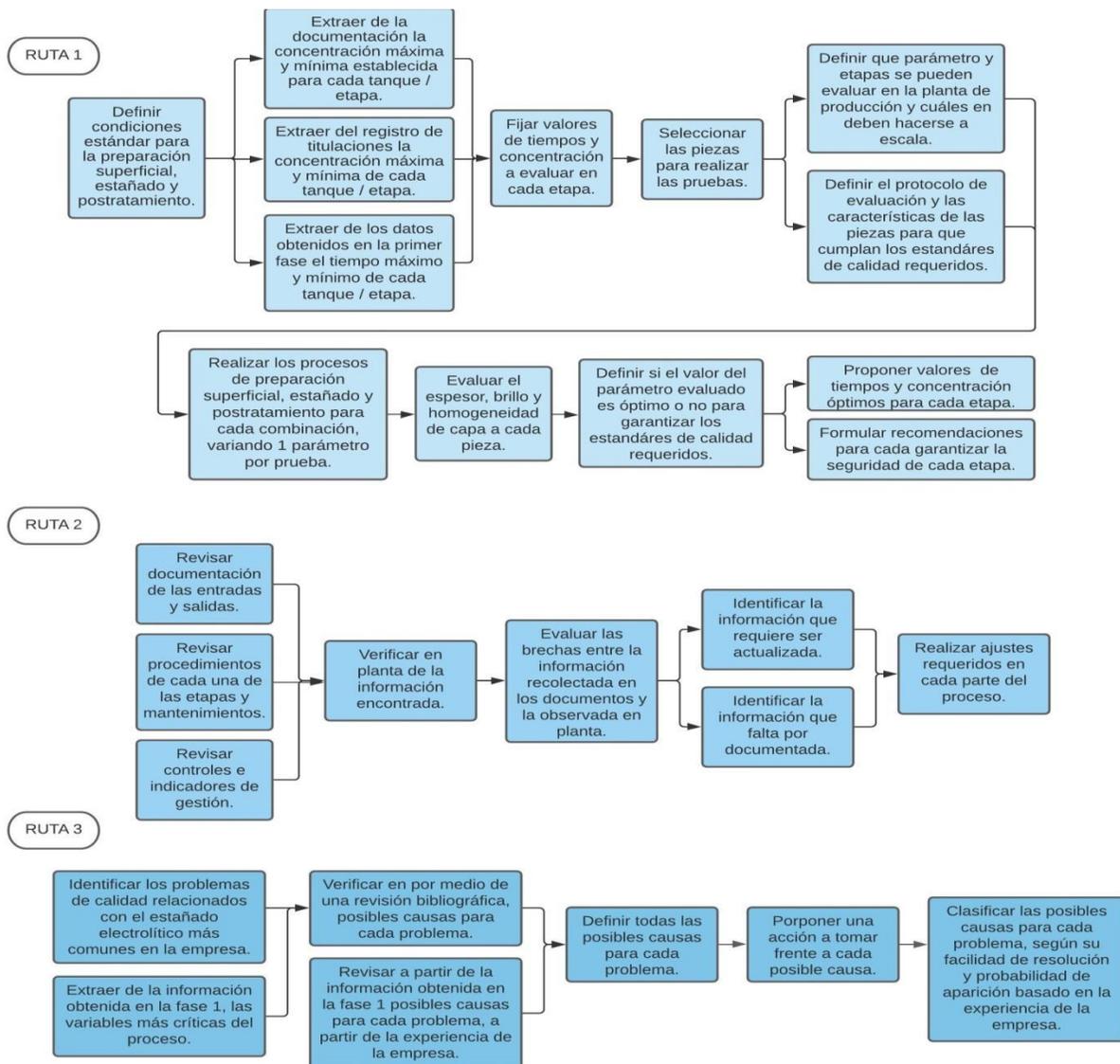
A partir de la información obtenida en la fase anterior, se diseñó una metodología experimental para evaluar la apariencia del recubrimiento, ante un aumento o disminución de los parámetros con mayor variabilidad, identificados en la fase 1 en los tanques de preparación superficial, recubrimiento electrolítico y postratamiento; esto para puntualizar los rangos óptimos de trabajo, considerando las particularidades del proceso (insumos, capacidad, equipos y condiciones ambientales).

Se utilizaron tres rutas para verificar la congruencia y eficacia de algunos parámetros o procedimientos importantes en este tipo de operaciones químicas, éstas se exponen en la figura 5;

inicialmente se evaluaron los rangos de concentraciones (apéndice B, C) y tiempos de residencia (apéndice D) manteniendo constante la temperatura, relación entre áreas, agitación (rotación del tambor y recirculación con bombas filtro) y corrientes; en la segunda ruta, se analizó la documentación de procedimientos, indicadores de gestión, registros del proceso y pruebas de calidad. Por último, se identificaron los problemas de calidad más comunes en la empresa y se indagó sobre sus posibles causas para el diseño del manual de acción.

**Figura 5.**

*Rutas de la fase 2 para la estandarización del proceso.*



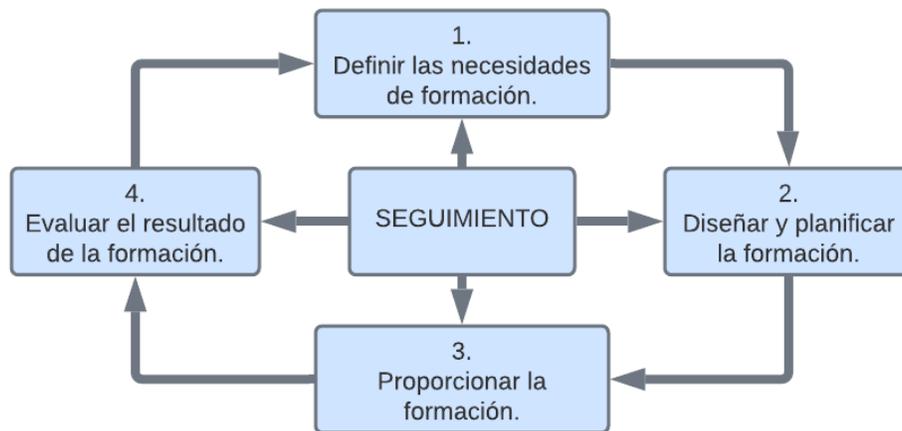
**5.3. Fase 3**

Durante la fase tres se formuló una propuesta de plan de acción a partir de los resultados de la fase uno y dos, con el fin de que los operarios y líderes del área tuvieran un documento guía frente a los problemas identificados durante la primera fase del proyecto; además, se ajustó la documentación de las entradas y salidas, procedimientos de cada una de las etapas y de los mantenimientos, controles de calidad e indicadores de gestión de la empresa Mecánicos Unidos S. A. S. correspondientes a protocolos y parametrización del proceso de estañado electrolítico.

Consecutivamente se definieron cuáles eran las competencias y los conocimientos clave que la empresa requería en el personal operativo y líderes del área de estañado electrolítico (apéndice E), y se planearon una serie de capacitaciones en el lugar de trabajo con el propósito de fortalecer estas competencias y conocimientos (apéndice F); todo esto implementando el ciclo de formación recomendado por la norma ISO 10015, el cual se esquematiza en la figura 6.

**Figura 6.**

*Ciclo de formación basado en la norma ISO10015.*



La estructuración de las capacitaciones se realizó con base en una evaluación diagnóstica aplicada al personal, se diseñaron 2 formatos, uno para el personal operativo (apéndice G) y otro

para los líderes del proceso (apéndice H); al terminar las capacitaciones se aplicó una evaluación formativa y sumativa para todo el personal del área (apéndice I), para analizar el proceso de capacitación y valorar los resultados con el fin de diseñar el plan de retroalimentación individual según las necesidades de cada trabajador y el plan de retroalimentación grupal según las necesidades del equipo.

### 5 Resultados

De la revisión bibliográfica se encontró que los parámetros críticos para la electrodeposición son la relación de área entre el ánodo y el cátodo, la densidad de corriente catódica, la agitación, la concentración de iones metálicos, la conductividad del electrolito, el pH, la temperatura y el tiempo de deposición; esta información y la contenida en la figura 4 se utilizó como punto de partida para diseñar una lista de chequeo a partir de la información documentada que la organización determinó como necesaria para la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

Para evaluar el grado de estandarización del proceso (documentación de las entradas y salidas, procedimientos de cada una de las etapas, mantenimientos, controles de calidad e indicadores de gestión con los que contaba la empresa a la fecha), se diseñaron y aplicaron los criterios especificados en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Criterios para valorar el grado de estandarización de los procedimientos.*

CRITERIO	CLASIFICACIÓN
No existe documentación actual de ningún tipo.	0%

Existe documentación que <i>no coincide</i> con la realidad en planta, <i>ni define</i> el objeto, alcance, referencias, definiciones, responsabilidades, desarrollo, registros, listas de distribución, anexos y recomendaciones.	<50%
Existe documentación que <i>coincide</i> con la realidad en planta, pero <i>no define</i> el objeto, alcance, referencias, definiciones, responsabilidades, desarrollo, registros, listas de distribución, anexos y recomendaciones.	50%
Existe documentación que <i>no coincide</i> con la realidad en planta, pero <i>define</i> el objeto, alcance, referencias, definiciones, responsabilidades, desarrollo, registros, listas de distribución, anexos y recomendaciones.	>50%
Existe documentación que <i>coincide</i> con la realidad en planta y <i>define</i> el objeto, alcance, referencias, definiciones, responsabilidades, desarrollo, registros, listas de distribución, anexos y recomendaciones.	100%

Los resultados de la valoración inicial (revisión documental y observación en planta) se muestran en las tablas 2, 3 y 4 de donde se concluye que el grado de estandarización del proceso antes de la práctica es menor al 50% debido a que la empresa contaba con una documentación previa desactualizada que omitía información valiosa tanto para el personal del área como para la empresa en sí; igualmente habían actividades sin documentar referentes a la operación en planta, mantenimiento, control de calidad, indicadores de gestión y datos técnicos.

**Tabla 2.**

*Resultados de la evaluación realizada en agosto 2020 a los formatos de control y seguimiento.*



**LISTA DE CHEQUEO PARA VERIFICAR EL GRADO DE ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ESTAÑADO ELECTROLÍTICO**

CÓDIGO	FECHA DE CREACIÓN	DOCUMENTOS	% ESTANDARIZACIÓN				
			0%	<50%	50%	>50%	100%
OP-PD-F-037	06/04/2018	FORMATO puesta punto (apertura y cierre).		<b>X</b>			
AP-GH-F-008	13/09/2017	FORMATO plan de entrenamiento del operario.	<b>X</b>				
OP-PD-F-100	08/06/2017	FORMATO control - espesor y prueba oxidación.			<b>X</b>		
OP-PD-F-017	18/01/2017	FORMATO control planta agua desionizada.		<b>X</b>			
		FORMATO control cambio de cartuchos bomba filtro.	<b>X</b>				
OP-PD-F-008	21/11/2018	FORMATO seguimiento por tanques pre y postratamiento.		<b>X</b>			
OP-PD-F-008	21/11/2018	FORMATO seguimiento para los tanques del proceso.		<b>X</b>			

**Tabla 3.**

*Resultados de la evaluación realizada en agosto 2020 a manuales de mantenimientos y prueba de calidad.*

 <b>LISTA DE CHEQUEO PARA VERIFICAR EL GRADO DE ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ESTAÑADO ELECTROLÍTICO</b>							
CÓDIGO	FECHA DE CREACIÓN	DOCUMENTOS	% ESTANDARIZACIÓN				
			0%	<50%	50%	>50%	100%
		MANUAL mantenimiento de tuberías.	X				
		MANUAL mantenimiento planta de agua desionizada.	X				
OP-PD-F-036	22/11/2018	MANUAL mantenimiento de coagulación-floculación.		X			
		DIAGRAMA configuración de enjuagues.	X				
OP-PD-I-066	15/02/2019	MANUAL mantenimiento falsos cátodos.				X	
OP-PD-P-015	15/02/2019	MANUAL mantenimiento para reducción del sulfato.				X	

**Tabla 4.**

*Resultados de la evaluación realizada en agosto 2020 a los diagramas y manuales de procedimientos.*

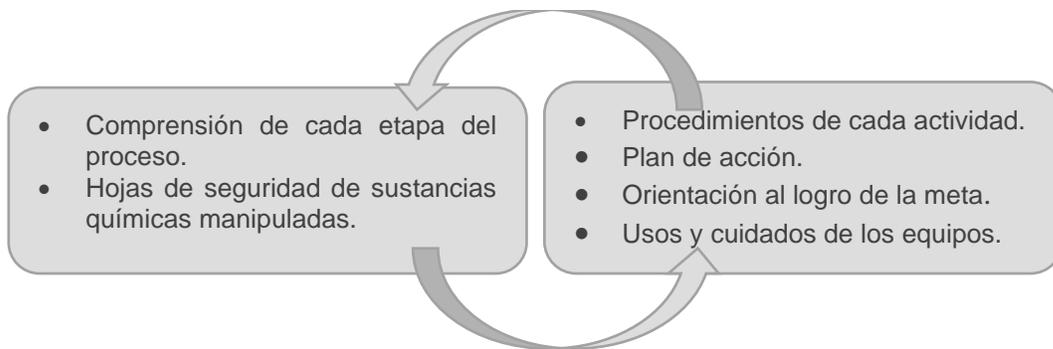
 <b>LISTA DE CHEQUEO PARA VERIFICAR EL GRADO DE ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ESTAÑADO ELECTROLÍTICO</b>							
CÓDIGO	FECHA DE CREACIÓN	DOCUMENTOS	% ESTANDARIZACIÓN				
			0%	<50%	50%	>50%	100%
OP-PD-P-015	22/11/2018	DIAGRAMA general del proceso.				X	
OP-PD-I-019	22/11/2018	MANUAL proceso para estañado.		X			
OP-PD-P-019 - ANEXO	04/07/2017	MANUAL condiciones de operación estañado electrolítico según la pieza a procesar.				X	
		MANUAL condiciones limitantes en la capacidad del proceso.	X				
		MANUAL documentación técnica del proceso.	X				
		MANUAL plan de acción para el proceso de estañado electrolítico.	X				
OP-PD-I-019	22/11/2018	MANUAL seguridad en operación de equipos y herramientas de estañado electrolítico.		X			
		MANUAL del operario de estañado electrolítico.	X				

OP-PD-I-019	22/11/2018	MANUAL criterios para la inspección de piezas previo al proceso de preparación química superficial.				X
		DIAGRAMA planta agua desionizada.			X	
		DIAGRAMA rutas de operación de operario del proceso. (especificando tiempos)			X	

Con las entrevistas realizadas al personal del área se identificaron las necesidades de mejora generales enunciadas en la figura 7; con esto y el resultado de las listas de chequeo se estableció la metodología a seguir durante el resto del proyecto (apéndice J).

**Figura 8.**

*Necesidades de mejora identificadas durante las entrevistas.*



Respecto a la caracterización del proceso, se analizaron los porcentajes de reproceso del año 2020 (apéndice K); con el fin de definir qué piezas utilizar para realizar las pruebas concernientes al manual de acción, concluyendo que el disco giratorio, el manubrio y el bastidor serían las más indicadas, considerando que tienen el mayor porcentaje de reproceso.

A partir de la bibliografía, observación en planta y experiencia de los líderes de la empresa se identificaron los problemas que posiblemente puedan presentar las piezas estañadas, se muestran en la tabla 5 y para los cuales se debe crear una ruta de acción, además en la tabla 6 definieron posibles causas de esos problemas, para evaluar la relación de las causas con los problemas se

utilizaron 2 métodos, uno a escala en la celda electrolítica (problemas en negrita) y el restante fueron evaluados directamente en planta.

**Tabla 5.**

*Listado de problemas para la creación del manual de acción.*

<b>PROBLEMAS</b>	
La inhibición total de la deposición	Deposición azulada
Depósito con apariencia gris-negro	Depósito con apariencia gris-negro
Deposición ocre	Recubrimiento con rastros de oxido naranja
Aspecto quemado en los bordes	
Deposito negro	Depósito con poca adherencia
Depósito sin brillo	Depósito picado
Depósito que salta	Manchas circulares opacas / tornasol
Deposición lechosa o brumosa	Bordes sin recubrimiento

**Tabla 6.**

*Listado de posibles causas de los problemas para la creación del manual de acción.*

<b>POSIBLES CAUSAS</b>	
Exceso de corriente	Deficiente corriente
Exceso de temperatura	Deficiente temperatura
<b>Exceso de aditivo S1</b>	<b>Deficiente aditivo S1</b>
<b>Exceso de aditivo S2</b>	<b>Deficiente aditivo S2</b>
<b>Exceso de ácido sulfúrico</b>	<b>Deficiente ácido sulfúrico</b>
<b>Exceso de sulfato de estaño</b>	<b>Deficiente sulfato de estaño</b>
<b>Exceso de área anódica</b>	<b>Deficiente área anódica</b>
Exceso de área catódica	Deficiente área catódica
Exceso de tiempo de estañado	Deficiente tiempo de estañado
Exceso de desengrase	Deficiente desengrase
Exceso de decapado	Deficiente decapado
Exceso de agitación	Deficiente agitación
<b>Exceso de contaminantes - cloruros</b>	Deficiente enjuague
<b>Exceso de contaminantes - orgánicos</b>	<b>Exceso de contaminantes - metales</b>

De manera simultánea y a partir de las observaciones en planta se identificó que los parámetros con mayor variabilidad en planta eran: la concentración del desengrase químico, la concentración y tiempo de residencia del desengrase anódico, la concentración de estaño, la concentración de ácido sulfúrico y el tiempo de residencia del tanque de electrodeposición (apéndice L), con esta información se decidió que se debían realizar pruebas orientadas a evaluar la incidencia de estos parámetros en la calidad y apariencia de las piezas procesadas.

La evaluación de las concentraciones se realizó para 4 valores de concentración (apéndice B), los valores del *rango establecido* (determinado en el manual del proceso antes de la práctica) se evaluaron en el laboratorio por medio de reactores a escala para los desengrases y una celda electrolítica para el tanque de electrodeposición, en cuanto a los valores del *rango real* (identificado durante la observación en planta), se evaluaron directamente en planta.

A partir de las pruebas para el desengrase químico y anódico se encontró que, en los valores mínimos del rango establecido para ambos procesos, el brillo y la homogeneidad del estaño depositado eran menores comparado a las piezas evaluadas en los otros 3 valores, permitiendo determinar que a esas concentraciones y con el mismo tiempo de residencia no se lograba garantizar una preparación superficial óptima para el estañado.

En cuanto a las concentraciones en el tanque de electrodeposición, se encontró que concentraciones mayores a 272 kilogramos ácido sulfúrico, favorecen la pasivación de los ánodos de estaño (reacción que elimina el hierro libre de la superficie y forma una capa de óxido inerte, en este caso de color negro), anulando la electrodeposición; además, las piezas evaluadas a 300 kilogramos de ácido y 108 kilogramos de sulfato de estaño mostraron una disminución en el brillo y la homogeneidad de la capa comparado a las piezas evaluadas en los otros 3 valores; estos resultados también permitieron verificar que la proporción alrededor de 1:3 de sulfato de estaño

respecto al ácido sulfúrico sugerida por el proveedor, permite obtener las mejores características del recubrimiento.

Durante la evaluación de la influencia de contaminantes en el tanque de electrodeposición, evaluando a 0.005 kilogramos y 0.015 kilogramos por medio de la celda electrolítica; se pudo determinar que la presencia de sulfato de níquel (puede estar presente debido a la degradación de las láminas de acero inoxidable usadas durante los mantenimientos del baño) en el electrolito para los 2 valores evaluados no manifiesta ningún problema visible en el recubrimiento, por el contrario, este metal se logra depositar junto con el estaño mejorando el brillo del acabado; referente al ácido clorhídrico (puede estar presente debido a la contaminación del aire con cloruros usados en otros procesos de la planta) en la prueba con 0.005 kilogramos genera una disminución del brillo y espesor del recubrimiento en zonas de bajas densidades de corriente y disminuye la adherencia, al aumentar la concentración a 0.015kilogramos provocó manchas opacas / blancas; en cuanto al sulfato de cobre (puede estar presente debido a la degradación de los marcos de cobre usados en los tanques para mejorar la conducción eléctrica) con 0.005 kilogramos se empieza a evidenciar la presencia de manchas oscuras sobre el recubrimiento, al aumentar la concentración a 0.015 kilogramos la película de estaño disminuye y las manchas oscuras aumentan, pasivando los ánodos de estaño (formación de una película sólida resultado de los óxidos del metal, que impide o disminuye la difusión de los iones), la superficie de éstos quedo negra casi en su totalidad y anuló la electrodeposición.

Posteriormente se llevaron a cabo una serie de pruebas en planta variando el tiempo de residencia, por interés de la empresa esta variable se evaluó para todas las etapas del proceso, 4 valores para los tanques con reacción química y 2 valores para los enjuagues (apéndice D); todas estas pruebas se llevaron a cabo en planta. Luego de analizar las piezas se determinó que, dentro

de los rangos evaluados en los enjuagues del desengrase, decapado y estañado, no se evidencia una influencia notable en las características de calidad evaluadas (brillo, espesor y homogeneidad de la capa en la prueba de oxidación).

Sin embargo, un tiempo deficiente en el enjuague del postratamiento provocó problemas visibles de manchas en todas las piezas (aparición opaca y algunas veces con tonalidad azul). A partir de estos resultados se establecieron rangos óptimos de enjuague y escurrido (indicados en el manual proceso de estañado) para cada tanque, que permiten obtener piezas con las características deseadas de brillo y recubrimiento, minimizar el arrastre de solución entre cada etapa (verificado el pH a diario) y paralelamente cumplir con el flujo de producción requerido.

Las pruebas en los tanques de desengrase, decapado y postratamiento permitieron identificar que las piezas evaluadas en el valor mínimo del rango establecido y el máximo del rango real presentaban un acabado con brillo y espesor heterogéneo, probablemente por una preparación insuficiente en el caso de los tiempos más bajos y excesiva en los tiempos más altos. En cuanto al proceso de estañado electrolítico, se identificó que el tiempo de residencia es directamente proporcional al espesor y homogeneidad de la capa, así que 60 minutos es el mínimo demandado para garantizar los requerimientos de espesor del cliente.

Por otra parte, se realizaron algunas pruebas en la celda electrolítica utilizando placas de acero laminado en frío (procedimiento recomendado por el proveedor) con el objetivo de caracterizar la influencia de los aditivos S1 y S2) utilizados para mejorar la adherencia y brillo del recubrimiento respectivamente, en las características del recubrimiento; una limitante para esta evaluación fue que la empresa no tiene los instrumentos e información suficiente para conocer su concentración exacta en el tanque, entonces se asumió que la solución se encontraba a una relación

de 1:1 de aditivos y a partir de ahí se determinaron 15 posibles combinaciones para la evaluación (apéndice C).

De estas pruebas se pudo concluir que para obtener unas propiedades óptimas del recubrimiento es importante mantener un nivelados los dos aditivos S1 y S2, ya que cualquier desequilibrio se refleja directamente en una disminución del brillo y espesor de la capa, también se pudo deducir que a concentraciones bajas del aditivo S2 refleja en una reducción del brillo, pero un exceso provoca defectos en la deposición de estaño (zonas con manchas café oscuras). Por último, se encontró que un leve exceso de aditivo S1 induce a un estañado parcial (disminución del espesor del recubrimiento principalmente alrededor de los agujeros), en caso de adicionar muy poco o demasiado se inhibirán las deposiciones de estaño y se formarán defectos en la deposición de estaño (zonas con manchas café oscuras).

Aunque la empresa contaba con 2 pruebas de calidad para las piezas estañadas, una inspección visual por parte de los operarios del área de ensamble que identificaba poros, manchas blancas, ocre y azules, y una prueba de oxidación realizada por inversión durante 24 horas en un tanque abierto ubicado en planta continuo al tanque de desengrase anódico (trabaja a 65°C y emite vapores alcalinos), sin control de temperatura, con una solución al 3.5% de sal de cocina con agua de pozo (agua sin tratamiento). Además, la inspección de las piezas se realizaba sin un criterio específico y no se generaba ningún reporte o informe de esta evaluación de calidad.

Con la intención de evaluar el comportamiento del material y el recubrimiento a futuro, se diseñó y estableció una prueba de oxidación por inmersión total en medio salino controlado, estandarizada y adaptada a las limitantes de la empresa (equipos y presupuesto). El alcance de la prueba fue conocer la resistencia y respuesta de las muestras a la exposición a un ambiente de

oxidación acelerada, todo esto a partir de una metódica evaluación visual bajo criterios preestablecidos para clasificar el tipo de oxidación y homogeneidad de la capa.

Para el diseño de la prueba se tuvieron como referentes las normativas ASTM G1 - 03 (2017) e1 para establecer el procedimiento para preparar muestras de metal sólido y para evaluar el daño por corrosión, en cuanto a la definición de las variables a controlar y la limpieza de las piezas después de la prueba para su evaluación se utilizó la norma ASTM B117-07 (2017). Se utilizó un recipiente de plástico inerte (avalado para uso con alimentos) con tapa y sello hermético, una solución de cloruro de sodio (NaCl grado reactivo)  $3,5 \pm 1\%$  en 32 litros de agua desionizada (tratada en la planta de la empresa, con conductividad inferior a  $1\mu\text{S}$ ), con un pH  $6.5 - 7.2$ , temperatura interna de la cuba  $30 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  controlada por medio de una termocupla con bulbo de vidrio, tiempo de inmersión 48 horas y con agitación constante por medio de una bomba sumergible de 500 litros por hora; finalmente se establecieron los criterios de evaluación y clasificación de las piezas a través del formato control – espesor y prueba oxidación.

Durante la fase 1 se evidenció que, a pesar de tener indicadores estipulados como se muestra en la tabla 7, en ocasiones consolidar la información para realizar un análisis completo del proceso podía ser complejo, así que se actualizaron, crearon y unificaron los formatos de registros para facilitar dicha actividad; también se propuso implementar 3 nuevos indicadores: control de cambio ánodos para mejorar el seguimiento al consumo e inventario de estaño, control de cambio electrodos / tambor y consumo de cartuchos para bombas filtro con el fin de realizar un seguimiento a estos insumos.

**Tabla 7.**

*Indicadores de seguimiento para el proceso de estañado electrolítico.*

<b>INDICADORES DE SEGUIMIENTO PARA EL PROCESO DE ESTAÑADO ELECTROLITICO EN LA EMPRESA MU MECÁNICOS UNIDOS S. A. S.</b>	
Tambores estañados / Minutos trabajados	Adición de químicos / Día
Piezas estañadas / Minutos trabajados	Caudal de aditivos / Tanque
Consumo de estaño / Piezas procesadas	**Control de cambio electrodos / Tambor
Amperios consumidos / Día	Disponibilidad de materias primas / Diaria
m <sup>3</sup> de agua / Día	Disponibilidad de equipos / Diaria
adición de químicos / Día	Frecuencia de mantenimientos
**Control de cambio ánodos	% de piezas rechazadas y reprocesadas / Día
**Consumo de cartuchos para bombas filtro	Concentraciones / Tanque / Día
<b>** Indicadores propuestos a partir del presente proyecto de grado.</b>	

Luego de caracterizar el proceso y revisar las condiciones de trabajo en cada etapa, se estandarizó, normalizó y documentó cada uno de los procedimientos y formatos según las necesidades identificadas en la fase 1, en la tabla 8 se describen los formatos de control y seguimiento fundamentales a la hora de evaluar los indicadores de gestión.

**Tabla 8.**

*Documentación referente a formatos de control y seguimiento.*

<b>DOCUMENTOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
FORMATO puesta punto (apertura y cierre)	Registro tipo lista de chequeo para apertura y cierre de la planta, con cada actividad a realizar y recomendaciones de contingencia para cada una en caso de presentarse un inconveniente.
FORMATO plan de entrenamiento del operario	Registro tipo lista de chequeo donde se especifica de manera estructurada y organizada la información que debe conocer el operario antes de iniciar para que desempeñe a satisfacción su trabajo.
FORMATO control – espesor y prueba oxidación	Seguimiento del espesor del recubrimiento de las 5 piezas principales del molino, medido con un Elcometer 456 Ferroso con sonda integrada- modelo B. Además, registra el seguimiento al comportamiento de cada tipo de pieza sometida a una prueba de oxidación por inmersión en un medio salino en relación con el espesor del recubrimiento, se registran las mediciones de espesor del recubrimiento, características del ataque y se define el porcentaje de área atacada.
FORMATO control planta agua desionizada	Seguimiento diario a los parámetros (pH y conductividad) y la frecuencia con la que se realizan los mantenimientos (retrolavado y regeneración de resinas).
FORMATO control cambio de cartuchos bomba filtro	Seguimiento de la frecuencia con la que se requiere cambiar los filtros de las bombas utilizadas para retener partículas suspendidas en el baño, ya que esta frecuencia varía según el grado de limpieza con las que llegan las piezas del proceso de preparación superficial mecánica, perforado y mecanizado.

FORMATO seguimiento por tanques pre y postratamiento	Seguimiento de la concentración y mantenimiento de cada tanque de preparación química superficial y postratamiento.
FORMATO seguimiento para los tanques del proceso.	Seguimiento de la concentración y mantenimiento de cada tanque de recubrimiento electrolítico.

Frente a la documentación central, en la tabla 9 se describen los documentos que se actualizaron, crearon y estandarizaron con el objetivo de que la empresa contara con una documentación clara, pertinente y útil del proceso, que facilite la operación, capacitación y actualización del proceso.

**Tabla 9.**

*Documentación referente a diagramas y manuales de procedimientos.*

DOCUMENTOS	DESCRIPCIÓN
Plan de entrenamiento	Indica la ruta a seguir para entrenar tanto al personal operativo como a los operarios líderes.
DIAGRAMA general del proceso	Diagrama de flujo del proceso desde la preparación química superficial, hasta secado de las piezas definiendo las condiciones estándar de operación en cada etapa.
MANUAL proceso para estañado	Manual de instrucciones para realizar la titulación de cada una de las sustancias químicas que requieren control y seguimiento, detalla equipos y herramientas requeridas, frecuencia y actividades específicas a realizar.
MANUAL condiciones de operación estañado electrolítico según la pieza a procesar	Manual de instrucciones referente al cargue de tambores (kg/tambor y unidades/tambor) y ajuste de condiciones de recubrimiento electrolítico para cada tipo de pieza procesada (relación área ánodo/cátodo, densidad de corriente y rango de amperaje), todo esto relacionado con el área superficial de cada tipo de pieza.
MANUAL condiciones limitantes en la capacidad del proceso	Manual que especifica cuatro condiciones del proceso de estañado electrolítico que limitan la capacidad (kilaje y volumen máximo por tambor, densidad de corriente y relación entre el área anódica y catódica).
MANUAL documentación técnica del proceso	Manual enfocado en la preparación química superficial, recubrimiento electrolítico y postratamiento, que describe el objetivo de cada etapa, principios científicos, condiciones de operación, procedimiento detallado, parámetros críticos y mantenimientos requeridos.
MANUAL plan de acción para el proceso de estañado electrolítico	Manual de instrucciones para actuar ante un problema presente en las piezas al salir del proceso de estañado electrolítico, relacionando cada problemática con las posibles causas ordenándose por orden de prioridad y especificando la ruta de acción a implementar.
MANUAL seguridad en operación de equipos y herramientas de estañado electrolítico	Manual de instrucciones y recomendaciones para la operación de los equipos más críticos dentro del proceso de estañado electrolítico (polipastos, tambores / barriles de estañado, rectificadores de corriente eléctrica, bombas dosificadoras de aditivos, secadoras centrifugas, bombas filtro y chillers (enfriadores)).
MANUAL del operario de estañado electrolítico	Manual para el operario del proceso estañado electrolítico, indica las instrucciones generales para una operación segura, describe equipos y herramientas requeridas, objetivo, frecuencia, principios científicos y actividades específicas a realizar.
MANUAL criterios para la inspección de piezas previo	Registro tipo lista de chequeo que especifica las características a controlar en cada pieza antes de que éstas ingresen al proceso de preparación química superficial,

DOCUMENTOS	DESCRIPCIÓN
al proceso de preparación química superficial	cantidades a inspeccionar por tambor procesado y el máximo de unidades defectuosas.
DIAGRAMA planta agua desionizada	Diagrama que define la estructura del proceso de producción, especificando la ruta de trabajo para cada operario del área de estañado electrolítico (recorrido y tiempos).
DIAGRAMA rutas de operación de operario del proceso	Diagrama que define la estructura del proceso de producción, especificando la ruta de trabajo para cada operario del área de estañado electrolítico (recorrido y tiempos).

Además, se decidió describir de manera detallada el estándar para los mantenimientos poco frecuentes que se realizan en el área, indicando las instrucciones para el proceso que describe equipos y herramientas requeridas, objetivo, frecuencia, principios científicos y actividades específicas a realizar, en la tabla 10 se enuncian los procesos documentados.

**Tabla 10.**

*Documentación referente a manuales de mantenimientos y prueba de calidad.*

DOCUMENTOS	DESCRIPCIÓN
Mantenimiento de tuberías	Manual de instrucciones.
Mantenimiento planta de agua desionizada	Manual de instrucciones.
Mantenimiento de coagulación-floculación	Manual de instrucciones.
Configuración de enjuagues	Diagrama de flujo del proceso desde la preparación química superficial, hasta secado de las piezas definiendo las condiciones estándar de operación en cada etapa.
Mantenimiento falsos cátodos	Manual de instrucciones.
Mantenimiento para reducción del sulfato	Manual de instrucciones.

Posteriormente, con la ruta tres se cotejaron los problemas más comunes de este tipo de recubrimiento encontrados en la revisión bibliográfica externa e interna (tabla 11), identificados gracias a los líderes del proceso y personal operativo; a este análisis se añadieron los problemas del proceso debidos al desbalance de abrillantadores, definiendo de manera detallada la relación entre la calidad y apariencia de la pieza procesada con la placa de acero laminado en frío (utilizada para ajustar las concentraciones de abrillantadores por medio de la celda electrolítica en el

laboratorio), asumiendo que tiene los mismos componentes de cualquier acero, con la diferencia de que se fabrica por medio de bobinas en frio (Román, 2017).

**Tabla 11.**

*Problemas en el recubrimiento de piezas procesadas por estañado electrolítico – 2020.*

<b>TIPO DE PIEZA</b>	<b>M.O</b>	<b>A.O</b>	<b>A.P</b>	<b>P</b>	<b>O</b>
MANUBRIO			6009		
DISCO FIJO			4830	1581	
DISCO GIRATORIO			6677	8	
BASTIDOR			5463	13	209
TORNILLO ALIMENTADOR			4348		
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27356</b>	<b>1602</b>	<b>209</b>

Códigos: M.O. Mancha Ocre / A.O. Acabado con Óxido / A. P. Acabado Opaco / P. Poros / O. Otros (Mecanizado)

Con toda la información recolectada se elaboró un plan de acción que actualmente ayuda al líder del proceso en la atención y corrección de los defectos que se presenten en las piezas relacionados con la etapa de electrodeposición, como apariencia opaca, deposición lechosa, poco o nulo depósito en zonas específicas o en toda la pieza, picaduras, erosión o pasivación en la superficie del ánodo, depósitos con baja adherencia, pieza con aspecto quemado y depósito no homogéneo.

El plan de acción prioriza la inspección de posibles fallas en el proceso y plantea una acción correctiva frente a cada uno, guiando a los líderes del área en la optimización del tiempo de atención y solución a los problemas de calidad superficial más comunes que presentan las piezas o ánodos, relacionados con la etapa de electrodeposición. Esto permitió tener mayor claridad sobre el objetivo de cada actividad, lista tareas a realizar, tiempos y frecuencia, recursos, responsable de cada acción, alcance de cada actividad, lista de posibles riesgos para cada equipo, indicadores y documentación técnica.

Los documentos entregados a la empresa se formalizaron y llevaron a la práctica, donde facilitaron la planificación de estrategias para la mejora continua y la toma de decisiones, evitando

la improvisación y mejorando la seguridad de la operación. Además, se logró una mayor claridad sobre las funciones de cada cargo evitando la duplicación de acciones, el objetivo de cada actividad, lista de tareas a realizar, tiempos y frecuencia, recursos, responsable de cada acción, alcance de cada actividad, lista de posibles riesgos para cada equipo, indicadores y documentación técnica. Todos los documentos estandarizados, incluido el plan de acción pueden consultarse de ser necesario siguiendo los códigos de archivo que se encuentran en la tabla 12, 13 y 14. También se etiquetaron todas las válvulas y líneas de flujo del proceso, lo que facilita la puesta a punto y la operación en el área; se clasificaron y etiquetaron los cajones usados para almacenamiento de producción mejorando la trazabilidad de las piezas reprocessadas y actualizó el formato de inspección visual de calidad para el área de ensamble.

**Tabla 12.**

*Resultados de la evaluación realizada en marzo 2021 a los formatos de control y seguimiento.*

CÓDIGO	FECHA DE CREACIÓN	DOCUMENTOS	% ESTANDARIZACIÓN				
			0%	<50%	50%	>50%	100%
OP-PD-F-037	06/04/2018	FORMATO puesta punto (apertura y cierre).					X
AP-GH-F-008	13/09/2017	FORMATO plan de entrenamiento del operario.					X
OP-PD-F-100	08/06/2017	FORMATO control - espesor y prueba oxidación.					X
OP-PD-F-017	18/01/2017	FORMATO control planta agua desionizada.					X
OP-PD-F-130	01/03/2021	FORMATO control cambio de cartuchos bomba filtro.					X
OP-PD-F-132	01/03/2021	FORMATO seguimiento por tanques pre y post tratamiento.					X
OP-PD-F-008	21/11/2018	FORMATO seguimiento para los tanques del proceso.					X



**LISTA DE CHEQUEO PARA VERIFICAR EL GRADO DE ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ESTAÑADO ELECTROLÍTICO**

**Tabla 13.**

*Resultados de la evaluación realizada en marzo 2021 a manuales de mantenimientos y prueba de calidad.*

CÓDIGO	FECHA DE CREACIÓN	DOCUMENTOS	% ESTANDARIZACIÓN				
			0%	<50%	50%	>50%	100%
OP-PD-P-0.15	01/03/2021	MANUAL mantenimiento de tuberías.					X
OP-PD-P-0.15	01/03/2021	MANUAL mantenimiento planta de agua desionizada.					X
OP-PD-P-0.15	01/03/2021	MANUAL mantenimiento de coagulación-floculación.					X
OP-PD-I-046	01/03/2022	DIAGRAMA configuración de enjuagues.					X
OP-PD-P-0.15	15/02/2019	MANUAL mantenimiento falsos cátodos.					X
OP-PD-P-0.15	15/02/2019	MANUAL mantenimiento para reducción del sulfato.					X

**Tabla 14.**

*Resultados de la evaluación realizada en marzo 2021 a los diagramas y manuales de procedimientos.*

CÓDIGO	FECHA DE CREACIÓN	DOCUMENTOS	% ESTANDARIZACIÓN				
			0%	<50%	50%	>50%	100%
OP-PD-P-046	22/11/2018	DIAGRAMA general del proceso.					X
OP-PD-P-046	22/11/2018	MANUAL proceso para estañado.					X
OP-PD-P-046-ANEXO	04/07/2017	MANUAL condiciones de operación estañado electrolítico según la pieza a procesar.					X
OP-PD-P-046	01/03/2022	MANUAL condiciones limitantes en la capacidad del proceso.					X
OP-PD-P-046	01/03/2022	MANUAL documentación técnica del proceso.					X
OP-PD-P-046	01/03/2022	MANUAL plan de acción para el proceso de estañado electrolítico.				X	
OP-PD-P-046	01/03/2022	MANUAL seguridad en operación de equipos y herramientas de estañado electrolítico.				X	
OP-PD-P-046	01/03/2022	MANUAL del operario de estañado electrolítico.					X
OP-PD-P-046	01/03/2022	MANUAL criterios para la inspección de piezas previo al					X

		proceso de preparación química superficial.			
OP-PD-P-046	01/03/2022	DIAGRAMA planta agua desionizada.			X
OP-PD-P-046	01/03/2022	DIAGRAMA rutas de operación de operario del proceso.			X

La última actividad de la práctica industrial fue la capacitación del personal, para la evaluación de esta se utilizó como base la evaluación diagnóstica y se aplicaron los criterios descritos la tabla 15 para el diseño de la primera jornada de capacitaciones.

**Tabla 15.**

*Criterios de clasificación para los resultados de la evaluación.*

<b>Escala</b>	<b>Descripción con respecto al promedio individual</b>	<b>Descripción con respecto al equipo</b>
<b>De 3.6 a 5</b>	Tiene un alto conocimiento sobre el proceso de estañado electrolítico y está capacitado para realizar todas las actividades en la planta.	No se realizará ninguna retroalimentación.
<b>De 3 a 3.5</b>	Tiene un conocimiento moderado sobre el proceso de estañado electrolítico y está capacitado para realizar ciertas actividades en la planta.	Es necesaria una retroalimentación que fortalezca las dudas e inquietudes sobre el ítem evaluado.
<b>De 0 a 2.9</b>	Tiene nulo o escaso conocimiento sobre el proceso de estañado electrolítico y no está capacitado para realizar ciertas actividades en la planta.	Es necesaria una retroalimentación completa del ítem evaluado.

En la tabla 16 se clasificaron las 8 preguntas de la evaluación diagnóstica en las 6 temáticas de la capacitación y en la tabla 17 se consolidan las puntuaciones obtenidas por cada operario y se promedian para analizar las necesidades generales del equipo. Con esta información se planea una capacitación sobre control general, mantenimientos y control de calidad profundizando en el fundamento de cada etapa, los principios de operación y la importancia de la seguridad y salud en el trabajo.

**Tabla 16.**

*Clasificación en áreas de las preguntas de la evaluación diagnóstica del personal operativo.*

TEMA	PREGUNTAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Fundamento del proceso		X		X	X			
Seguridad y salud en el trabajo	X	X					X	
Principios de operación			X	X	X	X	X	X
Control general								X
Mantenimiento						X		
Control de calidad				X				

**Tabla 17.**

*Resultados de la evaluación diagnóstica.*

PREGUNTAS (Calificación 0 – 5)	Operario líder	Operario 1	Operario 2	Operario 3	Operario 4	TOTAL
1	4	4	4	4	4	4,2
2	3	5	5	3	3	4
3	4	5	5	4	4	4,5
4	4	5	5	5	4	4,7
5	5	5	5	5	5	5
6	5	5	5	5	5	5
7	3	4	2	2	4	3,3
8	2	5	5	5	5	4,5
<b>TOTAL</b>	<b>3,8</b>	<b>4,8</b>	<b>4,5</b>	<b>4,1</b>	<b>4,3</b>	

Posterior a la jornada de evaluación se aplicó una evaluación formativa y sumativa diferente a la evaluación diagnóstica para precisar conceptos más específicos, esta evaluación incluyó todas las reformas realizadas al proceso durante la práctica industrial por lo cual no es posible comparar las puntuaciones de cada operario con las obtenidas en la evaluación diagnóstica, en la tabla 18 se explica la clasificación por áreas de cada pregunta y la tabla 19 la puntuación individual y grupal, con esta información se diseñó la segunda jornada de capacitación orientada a retroalimentar los vacíos que quedaron en la primera jornada.

Del análisis de esta información se identificó la necesidad utilizar la capacitación grupal para aclarar conceptos claves de los fundamentos del proceso, principios de operación y control general, además se decidió realizar una retroalimentación individual con el operario 3.

**Tabla 18.**

*Clasificación en áreas de las preguntas de la evaluación formativa y sumativa del personal operativo.*

TEMA	PREGUNTAS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fundamento del proceso	X			X	X		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X
Seguridad y salud en el trabajo		X		X								X	X			X	X	X
Principios de operación	X				X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X
Control general				X	X	X				X								
Mantenimiento								X	X	X								
Control de calidad				X						X								

**Tabla 19.**

*Resultados de la evaluación formativa y sumativa.*

PREGUNTAS (Calificación 0 – 5)	Operario líder	Operario 1	Operario 2	Operario 3	Operario 4	TOTAL
1	2	5	2	3	4	3,5
2	5	5	3	3	5	4,3
3	5	5	4	3	4	4,3
4	5	5	5	2	5	4,5
5	3	3	5	2	3	3,5
6	5	3	5	2	4	4
7	5	5	3	3	3	4
8	4	5	4	3	5	4,3
9	5	5	5	5	5	5
10	4	5	4	3	5	4,3
11	5	5	5	5	5	5
12	5	5	5	4	4	4,7
13	4	5	3	4	5	4,3
14	4	5	3	2	4	3,8
15	3	4	4	5	4	3,7
16	4	5	3	4	4	4,2
17	5	5	5	5	5	5
18	5	5	5	5	5	5
<b>TOTAL</b>	<b>4,3</b>	<b>4,7</b>	<b>4,1</b>	<b>3,5</b>	<b>4,4</b>	

Finalmente se realizó acompañamiento en planta durante 2 semanas para asegurar que el personal adquiriera y aclarara conocimientos claves, competencias y aptitudes para desempeñar su rol en el proceso a través de la auditoria del proceso y seguimiento al diligenciamiento de los formatos de seguimiento.

## 6 Conclusiones

Al iniciar la práctica se evaluaron los procedimientos, instructivos y métodos que se implementan en este momento en la operación de estañado electrolítico, permitiendo confirmar que la empresa Mecánicos Unidos S. A. S. no contaba con la documentación estandarizada, poniendo en riesgo la trazabilidad y dificultando el aseguramiento de las características superficiales del recubrimiento en cuanto adherencia, brillo y espesor estándar en las piezas procesadas.

Uno de los aspectos que más le preocupaba a la empresa era la falta de un protocolo para actuar frente a problemas de las características superficiales del recubrimiento durante la inspección visual; gracias a la información recolectada en la segunda fase del proyecto, el conocimiento del líder del proceso y las referencias bibliográficas se diseñó un plan de acción que propone el paso a paso a seguir para atender y corregir cada uno de los problemas de calidad como consecuencia de la etapa de estañado electrolítico, que se presentan de manera más frecuente en la planta.

La documentación es fundamental para la estandarización de un proceso, como producto de la práctica la empresa cuenta actualmente con una documentación completa de las entradas y salidas, procedimientos de cada una de las etapas y de sus mantenimientos, controles de calidad e indicadores de gestión de la preparación química superficial, electrodeposición y postratamiento.

Finalmente se ajustó la documentación interna, actualizando los procedimientos e instructivos ya existentes o documentando los procedimientos inexistentes, logrando que los operarios y líderes del área tuvieran la información, protocolos e instructivos necesarios para operar el proceso. Con esto se completó el proceso de estandarización, metodología fundamental a seguir para la ejecución de buenas prácticas y unificación de criterios en procesos químicos,

eliminando ambigüedades y posibles contradicciones en la operación, satisfaciendo las necesidades de los clientes y planeando alcanzar la certificación del proceso de producción bajo normativas nacionales e incluso internacionales.

## 7 Recomendaciones

Con miras a mejorar el proceso de estañado electrolítico se recomiendan acciones como: programar un análisis químico anual para descartar la presencia de posibles contaminantes al estaño y tanque de electrodeposición, implementar un sistema de temporizadores para controlar los tiempos de preparación superficial y postratamiento; analizar más a fondo el fundamento teórico del mantenimiento de falsos cátodos y replantear el procedimiento y materiales con el fin de evitar posibles fuentes de contaminación del electrolito.

Además, considerando la importancia de garantizar que el agua desionizada utilizada en el proceso cumpla con los parámetros requeridos de conductividad y pH, es importante realizar una evaluación anual del estado de las resinas utilizadas en la planta de tratamiento.

Finalmente, durante la práctica se evidenció que es fundamental para la empresa realizar un análisis exhaustivo de la eficiencia energética del sistema de estañado, ya que es un punto crucial a la hora de optimizar cualquier proceso y puede darle mayor rentabilidad. Igualmente es fundamental que la empresa capacite continuamente al personal, para propiciar el desarrollo de las competencias requeridas para la operación y que contribuya a mejorar la eficiencia y calidad del proceso.

**Referencias bibliográficas**

- Alzate, F. (19 de octubre de 2011). Cómo documentar un proceso empresarial. *Certificación ISO 9001 –2015*. <https://iso9001-calidad-total.com/2011/10/19/como-documentar-un-proceso/>
- Cazau, P. (2006). *Introducción a la Investigación en Ciencias Sociales* (3 ed.). Buenos Aires.
- Cortez Álvarez, K. M. (2014). *Diseño de un módulo de electrodeposición metálica por medios electrolíticos*. Guatemala: Tesis pregrado, Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cubberly, W. H., & Bakerjian, R. (1989). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook Desk Edition* (4 ed.). Dearborn: Sociedad de Ingenieros de Manufactura.
- Diaz Bravo, L., Torruco García, U., Martínez Hernández, M., & Varela Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica*, 2(7), 162-167.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Recubrimientos electrolíticos de estaño sobre acero: Requisitos. (NTE INEN 933:2013). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/993-1.pdf>
- Ministerio de trabajo e inmigración, Gobierno de España. (2008). *Prevención de riesgos laborales en el sector metal*. Barcelona: MC MUTUAL.
- MU Mecánicos Unidos. (2021). Manual del sistema integrado de gestión. Itagüí, Colombia.
- Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión. (2014). *Manual del curso de corrosión básica internacional NACE*. Versión 2.01. Houston: NACE, 2000.
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistema de gestión de la calidad, requisitos (ISO 9001)*. <https://www.iso.org/sites/outage/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

Organización Internacional de Normalización. (2019). *Gestión de la calidad, directrices para la gestión de la competencia y el desarrollo de las personas* (ISO 10015).

<https://www.iso.org/sites/outage/#iso:std:iso:10015:ed-2:v1:es>

Pintor Alfonso, J. A. (2015). *Estrategia para la enseñanza experimental interdisciplinaria de la electroquímica a estudiantes de ciclo 5*. Bogotá: Tesis maestría, Facultad de ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

Resolución 4142 de 2012 [Ministerio de Salud y Protección Social]. Por medio del cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos metálicos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano en el territorio nacional. Diciembre 12 de 2012.

Roman, Max. (2022). Hot Rolled Steel Vs. Cold Rolled Steel. sciencing.com. Retrieved from <https://sciencing.com/hot-vs-cold-rolled-steel-5856342.html>

Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (2017). *Práctica estándar para operar el aparato de niebla salina* (ASTM B117-07). <https://www.astm.org/b0117-07.html>

Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (2017). *Práctica estándar para preparar, limpiar y evaluar especímenes de prueba de corrosión* (ASTM G1-03e1). <https://www.astm.org/g0001-03r17e01.html>

**Apéndices**

Apéndice A. Preguntas de entrevista al personal del proceso de estañado electrolítico.

**GENERALES**

- ¿Cuáles son las etapas previas y posteriores de las piezas a estañar electrolíticamente?
- ¿Qué actividades se realizan en del proceso de estañado electrolítico?
- ¿Cuáles son los riesgos de accidente que puede tener durante el proceso?
- ¿Cuáles son los problemas más frecuentes durante el proceso?
- ¿Qué otra información tiene en cuenta a la hora de trabajar en el proceso?

**PRINCIPIOS DE OPERACIÓN**

- ¿Qué concentraciones se manejan en cada cuba?
- ¿Cuál es el rango de densidad de corriente que se maneja?
- ¿Qué relación se usa entre el área anódica y el área catódica durante el proceso?
- ¿Cuál es la dosificación de abrillantador a la cuba de estañado?
- ¿Cuál es la temperatura y capacidad de las cubas?

**CONTROL GENERAL**

- ¿Cómo debe ser el estado de la pieza antes de iniciar el proceso?
- ¿Cuáles son los tiempos de residencia en cada cuba?
- ¿Cuáles son las especificaciones para cargar el tambor?

**LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN**

- ¿Con que frecuencia se caracterizan las concentraciones de las cubas?
- ¿Cómo se decide el momento de realizar el ajuste y el cambio de la solución de cada cuba?
- ¿Qué documentación consulta a la hora de ajustar el proceso de estañado electrolítico?

**OTROS PROCESOS (MANTENIMIENTO)**

- ¿Cómo es el proceso de recuperación de SnSO<sub>4</sub>? ¿Cómo decidir realizarla?
- ¿Cómo es el proceso de descontaminación con falsos cátodos? ¿Cómo decidir realizarla?
- ¿Cómo es el proceso de floculación del tanque de estañado? ¿Cómo se decidir realizarla?

**CONTROL DE CALIDAD**

- ¿En qué momento del ensamble realiza la inspección de las piezas
- ¿Cómo se realiza la inspección de cada pieza?
- ¿Cuáles son las características de cada pieza que puede causar reproceso?
- ¿Qué documentación tiene en cuenta a la hora de evaluar las piezas estañadas?

**OTROS COMENTARIOS**

Apéndice B. Rangos de variación para la evaluación en las concentraciones en el tanque de estañado.

COMPUESTO	RANGO ESTABLECIDO		RANGO REAL	
	[kilogramos]		[kilogramos]	
Desengrase químico	36	50	45	51
Desengrase anódico	52	67	58	67
Ácido	225	272	248	300
Sulfato de estaño	54	95	66	108
CONT. 1 - HCL	0,005	0,015		
CONT. 2 - Sulfato de cobre	0,005	0,015		
CONT. 3 - Sulfato de níquel	0,005	0,015		

<i>Nota 1: Por privacidad de la empresa las concentraciones no se expresan en gramos por litro, si no en kilogramos totales contenidos en el tanque.</i>
<i>Nota 2: Las concentraciones de los contaminantes (CONT 3) se determinaron arbitrariamente.</i>
<i>Nota 3: El rango establecido, estaba determinado en el manual del proceso antes de la práctica.</i>
<i>Nota 4: El rango real, es el determinado en planta durante la observación de la fase 1.</i>

Apéndice C. Rangos de variación para la evaluación de los aditivos en el tanque de estañado.

RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN ADITIVOS		CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA	
ADITIVOS1	ADITIVO S2	ESPESOR [µmetros]	BRILLO [GU]
0,8	0,8	2,2	126
1,0	0,8	2,1	131
1,4	0,8	2	130
1,8	0,8	2,3	120
0,8	1,0	2	128,4
1,0	1,0	2,8	140,1
1,4	1,0	2,2	141
1,8	1,0	2,4	140,5
0,8	1,4	2	130
1,0	1,4	2	136
1,4	1,4	2,5	131,2
1,8	1,4	1,8	135,1
0,8	1,8	2	166,4
1,0	1,8	2,2	166,4
1,4	1,8	2,2	166,4
1,8	1,8	2,5	170,8

Apéndice D. Rangos de variación para la evaluación de tiempos de residencia.

PROCESO	RANGO ESTABLECIDO		RANGO DE OPERACIÓN	
	[minutos]		[minutos]	
Desengrase químico	1,01	5	3	7,17
Enjuague alcalino		0,26	0,05	
Desengrase anódico	1,04	7	3	18,51
Enjuague alcalino		1,12	0,15	
Decapado	1	3	1,39	9,01
Enjuague con AD	0,05	1	0,3	8,34
Estañado	60	76	57	70
Enjuague ácido		6,57	1,26	
Postratamiento	1,01	1,3	1,15	2,2
Enjuague alcalino	0,26	1,08	0,30	2,18
<i>Nota 1: El rango establecido, estaba determinado en el manual del proceso antes de la práctica.</i>				
<i>Nota 2: El rango real, es el determinado en planta durante la observación de la fase 1.</i>				

Apéndice E. *Perfil del operario de estañado electrolítico.*

### COMPETENCIAS COMPORTAMENTALES

- Disciplina y compromiso laboral.
- Trabajo en equipo y respeto.
- Amabilidad y colaboración.
- Concentración y manejo de tensión.

### CONOCIMIENTOS CLAVES

- Verificar y manipular las piezas entre los subprocesos de estañado electrolítico.
- Efectuar la puesta a punto a punto del sistema de estañado electrolítico: temperatura de trabajo, concentraciones de sustancias químicas, nivel de agua de los tanques, operación mecánico - eléctrica de tambores, polipastos y centrífuga, bombas de limpieza (purifican los tanques) y rectificador de corriente.
- Secar y almacenar temporalmente el producto en proceso.



Apéndice H. *Formato para la evaluación diagnóstica del personal operativo.*

<b>EVALUACIÓN DIAGNOSTICA AL PERSONAL OPERATIVO DEL PROCESO DE ESTAÑADO ELECTROLÍTICO EN LA EMPRESA MU MECÁNICOS UNIDOS S. A. S.</b>	
<b>ANTIGÜEDAD EN EL PROCESO:</b>	
<b>NOMBRES Y APELLIDOS:</b>	
<i>ACLARACIÓN: La información recolectada no se tendrá en cuenta para la evaluación de desempeño periódica, tiene como único objetivo identificar los conocimientos y competencias que ha adquirido durante su trabajo como operario de estañado electrolítico.</i>	
<b>RESPONDA A CONCIENCIA Y DE MANERA INDIVIDUAL CADA UNA DE LAS PREGUNTAS.</b>	
1. ¿Cuáles son los principales peligros a los que usted está expuesto y qué EPP debe usar?	
2. ¿Qué sustancias químicas manipula como operario del estañado electrolítico?	
3. ¿Cómo se distribuyen las actividades/operaciones entre los operarios del proceso?	
4. ¿Qué precauciones debe tomar para garantizar que las piezas cumplan con los requerimientos de calidad?	
5. ¿Cuáles son las etapas del proceso estañado electrolítico?	
6. ¿Qué mantenimientos se realizan en el proceso y con qué frecuencia?	
7. ¿Conoce las actividades de puesta a punto y cierre del proceso?	
8. ¿Qué formatos debe diligenciar o consultar como operario de estañado electrolítico?	
_____	_____
DIRECTOR PLANTA MAE	INSTRUCTOR

Apéndice I. *Formato para la evaluación diagnóstica a operarios líderes del proceso.*

<b>EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA A LOS OPERARIOS LÍDERES DEL PROCESO DE ESTAÑADO ELECTROLÍTICO EN LA EMPRESA MU MECÁNICOS UNIDOS S. A. S.</b>	
<b>ANTIGÜEDAD EN EL PROCESO:</b>	
<b>NOMBRES Y APELLIDOS:</b>	
<i>ACLARACIÓN: La información recolectada no se tendrá en cuenta para la evaluación de desempeño periódica, tiene como único objetivo identificar los conocimientos y competencias que ha adquirido durante su trabajo como operario de estañado electrolítico.</i>	
<b>RESPONDA A CONCIENCIA Y DE MANERA INDIVIDUAL CADA UNA DE LAS PREGUNTAS.</b>	
1. ¿Qué metodología utiliza para la formación del personal operativo nuevo?	
2. ¿Qué sustancias químicas manipula como operario líder del estañado electrolítico? ¿Conoce las fichas técnicas?	
3. ¿Qué actividades/operaciones tiene a cargo?	
4. ¿Qué precauciones debe tomar para garantizar que las piezas cumplan con los requerimientos de calidad?	
5. ¿Cuáles son las etapas del proceso estañado electrolítico? ¿Cuál es la etapa más crítica y por qué?	
6. ¿Qué mantenimientos se realizan en el proceso y con qué frecuencia?	
7. ¿Qué documentos usa para apoyarse a la hora de tomar decisiones sobre la operación del proceso?	
8. ¿Qué formatos debe diligenciar o consultar como operario líder de estañado electrolítico?	
_____	_____
DIRECTOR PLANTA MAE	INSTRUCTOR

Apéndice J. *Evaluación formativa y sumativa.*

<b>EVALUACIÓN FORMATIVA Y SUMATIVA</b>			
<b>CARGO</b>		<b>FECHA</b>	
<b>ANTIGÜEDAD</b>		<b>GRUPO</b>	
<p>ACLARACIÓN: La información recolectada no es con fines evaluativos, tiene como único objetivo analizar qué tan eficiente fue la capacitación.</p>			
<b>PREGUNTAS</b>			
<p>Responda a conciencia y de manera individual cada una de las preguntas</p>			
1. ¿Qué actividades se realizan en el proceso de estañado electrolítico?			
2. ¿Cuáles son los riesgos de accidente que puede tener durante el proceso?			
3. ¿Cuáles son los problemas más frecuentes durante el proceso?			
4. ¿Qué sustancia se utiliza en cada tanque?			
5. ¿Cuál es la temperatura y capacidad de los tanques?			
6. ¿Cuáles son los tiempos de residencia en cada tanque?			
7. ¿Cuáles son las especificaciones para cargar el tambor?			
8. ¿Cómo es el proceso de recuperación de SnSO <sub>4</sub> ?			
9. ¿Cómo es el proceso de mantenimiento de cárcamos?			
10. ¿Cómo es el proceso de floculación del tanque de estañado?			
11. ¿Cuáles son las características de las piezas a la salida del estañado que puede causar reproceso?			
12. ¿Cuáles son los principales equipos del proceso?			
13. ¿Explique brevemente cuáles son las tareas por realizar para el operario 1, operario 2 y operario 3?			
14. ¿Qué precauciones debe tener en cada etapa?			
15. ¿Cuáles son los tanques “críticos” del proceso?			
16. ¿Cuáles son las variables por controlar durante la operación de los tambores?			
17. Nombre 5 actividades que se realizan durante la puesta a punto			
18. Nombre 5 actividades que se realizan durante el cierre			





Apéndice L. Pareto de reprocesos por pieza estañado electrolítico.

PIEZAS	CANTIDAD	CANTIDAD ACUMULADA	% PARTICIPACION
MANUBRIO	6 102	554	20,85%
DISCO FIJO	4 830	5 384	16,51%
DISCO GIRATORIO	6 677	12 061	22,82%
BASTIDOR	5 685	17 746	19,43%
TORNILLO ALIMENTADOR	4 348	22 094	14,86%
DISCO FIJO (Poros)	1 610	23 704	5,50%
DISCO GIRATORIO (Poros)	8	23 712	0,03%
<b>TOTAL</b>	<b>29 260</b>		<b>100%</b>

Apéndice M. Registro de observación del proceso de estañado electrolítico.

PROCESO	VARIABLE	VARIANZA	RECORRIDO / AMPLITUD TOTAL
DESENGRASE QUÍMICO	[gramos/litro]	12,87	9,99
	Tiempo residencia [min]	1,42	6,16
E1	Tiempo residencia [min]	0,00	0,21
DESENGRASE ANÓDICO	[gramos/litro]	20,94	13,72
	Tiempo residencia [min]	5,89	17,47
E4	Tiempo residencia [min]	0,01	0,41
DECAPADO	[gramos/litro]	3,07	4,88
	Tiempo residencia [min]	2,22	8,29
AGUA DESIONIZADA	Tiempo residencia [min]	2,22	8,29
ESTAÑADO-12	[gramos estaño/litro]	15,55	11,11
	[gramos sulfato de estaño/litro]	8,64	11,04
	[gramos ácido sulfúrico/litro]	17,14	11,28
	Tiempo residencia [min]	20,59	19,00
E5	Tiempo residencia [min]	0,93	3,27
POSTRATAMIENTO	[gramos/litro]	0,22	1,56
	Tiempo residencia [min]	0,04	1,19
E7	Tiempo residencia [min]	0,04	0,94

*Nota: El color rojo representa las variables más críticas*