



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE
LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

**SEIS SIGMA PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN
EN CALIENTE EN LA EMPRESA FADHELEC CIA. LTDA.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor(a)

Arellano Chillagano Gabriela Elizabeth

Tutor(a)

Ing. Hernán Fabricio Espejo Viñan MSc.

**QUITO – ECUADOR
2019**

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo, Gabriela Elizabeth Arellano Chillagano, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “SEIS SIGMA PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN LA EMPRESA FADHELEC CIA. LTDA”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial, y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 25 días del mes de marzo de 2019, firmo conforme:

Autor: Gabriela Elizabeth Arellano Chillagano

Firma:

Número de Cédula: 1726867466

Dirección: Pichincha, Quito, Josefina.

Correo Electrónico: gabriela.19eli@hotmail.com

Teléfono: 0980380764

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “SEIS SIGMA PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN LA EMPRESA FADHELEC CIA. LTDA”, presentado por Gabriela Elizabeth Arellano Chillagano, para optar por el Título Ingeniero Industrial

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, marzo del 2019

.....
Ing. Hernán Fabricio Espejo Viñan. MSc

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 25 de marzo 2019

.....
Gabriela Elizabeth Arellano Chillagano
1726867466

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: SEIS SIGMA PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN LA EMPRESA FADHELEC CIA. LTDA, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Quito,.....de 2019

.....
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
VOCAL

.....
VOCAL

DEDICATORIA

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. A mi abuelita y a mi madre quienes representan un ejemplo de esfuerzo, sacrificio, dedicación y perseverancia, y a quienes les debo mis éxitos y toda mi formación como mujer y como ser humano.

A mi pareja Fabián, quien ha sido un apoyo incondicional para mí a lo largo de todas las dificultades que se ha presentado en mi vida en general y gracias a su amor y cariño hemos salido adelante.

A mi hijo Sebastián, que aún sin conocerte ya eres el motor que me motiva día a día para salir adelante.

A mis tías, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional, confianza y comprensión en los momentos difíciles.

A mi tutor, por el tiempo dedicado y la paciencia en la elaboración de este proyecto.

Gabriela Elizabeth Arellano
Chillagano

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios y a la vida por este nuevo triunfo, gracias a mi familia quienes siempre me apoyaron y creyeron en mí.

Gracias a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica Indoamérica por su atención y amabilidad en todo lo referente a mi vida como alumna de la carrera.

Mi agradecimiento también va dirigido a la empresa Fadhelec por haber aceptado que se realice mi tesis en su prestigiosa empresa.

Y por encima de todas gracias, y con todo mi amor, gracias Fabián por estar incondicionalmente conmigo durante todo este tiempo.

Gabriela Elizabeth Arellano
Chillagano

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ..	ii
AUTORIZACIÓN POR PARTE DELAUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE E FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO.....	xii
EXECUTIVE SUMMARY (ABSTRACT).....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
Macro	1
Meso.....	4
Micro.....	5
Marco Teórico.....	6
Corrosión.....	6
Galvanizado.....	6
Galvanización por inmersión en caliente	6
Galvanizado en continuo.....	6
Historia del Seis Sigma	7
Seis Sigma.....	7
Estructura del Seis Sigma.....	7
Antecedentes	8
Justificación.....	10
Objetivos	11
General	11
Específicos	11
CAPÍTULO II	12
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	12

La Empresa.....	12
El diagnóstico actual del galvanizado se lo realizó mediante	13
Descripción general del proceso de galvanizado por inmersión en caliente de herrajes eléctricos.....	14
Etapas del proceso de galvanizado por inmersión en caliente:	14
Etapas de limpieza para el galvanizado por inmersión en caliente	15
Toma de fallas	19
Almacenamiento	19
Check List de acuerdo con la especificación ASTM A 123/A 123M-02	19
Resultados del Check List de la situación actual de la Empresa.....	22
Área de estudio.....	24
Área:	25
Periodo de Análisis:	25
Modelo operativo	25
SEIS SIGMA PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN LA EMPRESA FADHELEC CÍA. LTDA.....	26
Definir	26
Medir.....	27
Analizar.....	27
Mejorar.....	28
Controlar	28
CAPÍTULO III.....	29
Desarrollo de la Fase Definir	29
Diagramas de Procesos	30
Cuadro de proyecto (Proyect Charter)	32
Desarrollo de la Fase Medir	33
Cálculo del Nivel Sigma del Proceso.....	36
Medición de la capacidad del proceso actual.....	40
Desarrollo de la Fase Analizar	46
Técnica de los 5 Porqués.....	52
Desarrollo de la fase Mejora	53
Desarrollo de la fase Controlar	62
Resultados esperados	64
Análisis de costos.....	66

CAPÍTULO IV	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
Conclusiones	68
Recomendaciones:.....	69
Bibliografía	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales proyectos de infraestructura en América Latina	2
Tabla 2. Industrias Básicas de Hierro y Acero.....	4
Tabla 3. Check list bajo la normativa ASTM A 123/A 123M-02 (Especificaciones de norma para el revestimiento de zinc en productos de hierro).....	20
Tabla 4. Resumen de resultados Check List Inicial	22
Tabla 5. Resultados Check List Inicial	22
Tabla 6. Escala de criterios de la matriz de priorización de problemas.....	23
Tabla 7. Matriz de Priorización de Problemas	24
Tabla 8. Productos galvanizados.....	29
Tabla 9. PEPSU del proceso del galvanizado	32
Tabla 10. Cuadro del Proyecto (Project Charter).....	32
Tabla 11. Método de selección y número de especímenes	34
Tabla 12. Baños de zinc al año de acuerdo a la producción estudiada	35
Tabla 13. Cantidad de baños a muestrear por producto.....	35
Tabla 14. Propiedades del revestimiento a ser inspeccionadas.....	36
Tabla 15. Defectos observados en la muestra	36
Tabla 16. Criterios para determinar la capacidad del proceso	45
Tabla 17. Resumen de la capacidad del proceso de los cuatro productos.....	45
Tabla 18. Criterios de calificación del índice de prioridad de riesgo AMEF	47
Tabla 19. Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) del proceso del galvanizado por inmersión en caliente	48
Tabla 20. Combinación de ambos métodos, Diagrama Ishikawa y AMEF.....	52
Tabla 21. Resumen del análisis de regresión	55
Tabla 22. Resultados de los intervalos de confianza.....	55
Tabla 23. Registro de control para muerte de producto.....	63
Tabla 24. Cronograma de actividades para la aplicación de la propuesta	65
Tabla 25. Cálculo del SBU.....	66
Tabla 26. Costo del Plan de Mejora	67
Tabla 27. Cronograma valorado de componentes y actividades.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de Zinc.....	1
Figura 2. Beneficios de las principales partes interesadas de las organizaciones con los resultados Lean Six Sigma	4
Figura 3. Layout de la fábrica FADHELEC	13
Figura 4. Diagrama de proceso de galvanizado por inmersión en caliente.....	14
Figura 5. Recepción de material	14
Figura 6. Preparación de material	15
Figura 7. Proceso de desengrase	15
Figura 8. Proceso de decapado.....	16
Figura 9. Proceso de enjuague después del decapado.....	16
Figura 10. Proceso de fluxado.....	17
Figura 11. Proceso de galvanizado.....	18
Figura 12. Proceso de enfriamiento	18
Figura 13. Proceso de galvanizado por inmersión en caliente. Norma ASTM A 123/A 123M-02.....	19
Figura 14. Almacenamiento	19
Figura 15. Modelo operativo las 5 etapas de para la realización de un proyecto 6σ	26
Figura 16. Diagrama de Pareto de los productos	30
Figura 17. Mapa del proceso nivel micro	31
Figura 18. Tabla de conversión sigma	39
Figura 19. Prueba de normalidad de brazos luminaria.....	41
Figura 20. Prueba de normalidad de brazos tensores.....	41
Figura 21. Prueba de normalidad de crucetas	42
Figura 22. Prueba de normalidad de abrazaderas.....	42
Figura 23. Cpk del proceso de brazos luminaria.....	43
Figura 24. Cpk del proceso de brazos tensores	44
Figura 25. Cpk del proceso de crucetas	44
Figura 26. Cpk del proceso de abrazaderas.....	45

Figura 27. Diagrama Ishikawa	46
Figura 28. Cinco por qué para identificar la causa raíz del problema.....	53
Figura 29. Análisis de regresión Abrazaderas.....	54
Figura 30. Diagrama del plan de mejora del proceso de galvanizado	61

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: SEIS SIGMA PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN LA EMPRESA FADHELEC CIA. LTDA.

AUTORA: Gabriela Elizabeth Arellano Chillagano

TUTOR: Ing. Hernán Fabricio Espejo Viñañ

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como objetivo principal mejorar el proceso del galvanizado por inmersión en caliente de la empresa Fadhelec aplicando la metodología Seis Sigma, la cual se desarrolló en cinco etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Para desarrollar las etapas de esta metodología se utilizó herramientas como diagrama de Pareto, matriz de proposición de problemas, AMEF, técnica de los cinco porqués que ayudaron a determinar que el revestimiento de galvanizado se considera como el principal problema del proceso de galvanizado. Además, se obtuvo el valor del indicador Cpk que identificó que el proceso no es capaz de cumplir con la especificación debido a que los valores obtenidos son menores a 1.25. Con el análisis realizado se determinó realizar un plan de mejora que permita incrementar el rendimiento en un 95%, el cual consiste en realizar un procedimiento del proceso que incluya controles, hojas de verificación y especificaciones técnicas para desarrollar el proceso basado en la normativa ASTM A 123/A 123M-02.

DESCRIPTORES: Norma ASTM A 123/A 123M-02, Indicador de la capacidad real del proceso, micraje, proceso de galvanizado.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**THEME: SIX SIGMA FOR THE HOT DIP GALVANIZATION PROCESS
AT FADHELEC CÍA. LTDA.**

AUTHOR: Gabriela Elizabeth Arellano Chillagano

TUTOR: Ing. Hernán Fabricio Espejo Viñañ

ABSTRACT

The main objective of this research is to improve the process of hot dip galvanization of the Fadhelec company by applying the Six Sigma methodology, which was developed in five stages: Define, Measure, Analyze, Improve and Control it. To develop the stages of this methodology, tools such as Pareto diagram, problem proposition matrix are used, AMEF, a technique of the five why they helped determine that the galvanising coating is considered as the main problem of the galvanising process. In addition, we obtained the value of the Cpk indicator that I identify that the process is not capable because the obtained values are less than 1.25 which shows that the process is not complying with the specification. With the analysis carried out, it was determined to carry out an improvement plan that would increase the yield by 95%, which consists in carrying out a process procedure that includes controls, verification sheets and technical specifications to develop the process based on ASTM A 123/A 123M-02.

KEYWORDS: Standard ASTM A 123/A 123M-02, Actual process capacity indicator, micro, galvanizing process.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Macro

La importancia de galvanizado radica en la protección de los metales. El galvanizado es un proceso a través del cual el zinc es adherido metalúrgicamente al acero proporcionando un revestimiento anticorrosivo más avanzado y eficiente en término de costo.

La materia prima para el proceso de galvanizado es el zinc, en la Figura 1 se muestra un análisis estadístico del ranking de los principales países productores de zinc a nivel de América en el año 2017. En ese año, Perú es el mayor país productor de zinc, con aproximadamente 1.4 millones de toneladas métricas, por delante de Estados Unidos y México (Statista, 2018).

En la Figura 1 se puede observar los principales países productores de zinc en el año 2017 (Statista, 2018).

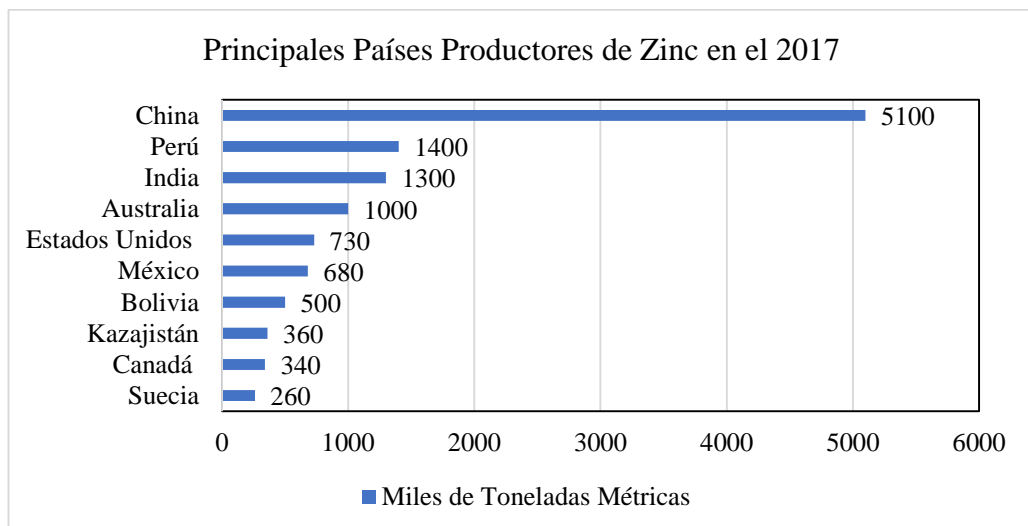


Figura 1. Principales países productores de Zinc

Fuente: (Statista, 2018)

Elaborado por: El investigador.

Según Cesar Vela, Desarrollador de mercado del Conglomerado Industrial Brasileño Votorantim, uno de los más grandes de Latinoamérica indicó que en América Latina existen más 160 plantas de galvanizado con una capacidad anual 1.4 millones de toneladas, y que Brasil, México, Chile y Colombia se han desarrollado en los últimos años con una serie de plantas con gran capacidad para galvanizar (5000 a 6000 TM/mes)(Vela Cesar, 2015).

Las instalaciones de estas industrias de mayor capacidad han contribuido a impulsar la cultura del galvanizado en estos países, donde se han realizado la construcción de plantas con tecnología moderna propia e importada de América del Norte y Europa (tinajas, hornos, sistemas de captación de gases, productos químicos, aleaciones de zinc, etc.). La industria del galvanizado en América se ha visto beneficiada de empresas multinacionales que participan en proyectos cercanos a US \$ 200.000 millones, en sectores representativos como es el petróleo, gas, electricidad, nueva infraestructura, energía renovable, aeropuertos, minería, etc., ya que estas empresas conocen el valor del galvanizado como un protector contra la corrosión. (Asociación Latinoamericana de Zinc, 2012).

Tabla 1 Principales proyectos de infraestructura en América Latina

País	Inversión Mil US\$	Proyecto	Agencia responsable
Argentina	2500	Gasoducto del Nordeste	Enarsa
Brasil	18000	500 Kv Línea de Trasmisión Pico Truncado-Río Turbio-Río Gallegos Calafe	Ministerio de Planeación Federal
Brasil	16000	Refinería de Comperj	Petrobras
Brasil	18000	Tren de Alta Velocidad Río-Sao Paulo	BNDES
Chile	3000	Corredor Bioceánico Aconcagua	CASA
Chile	2300	Mina Ministro Hales	Codelco
Colombia	2000	Autopista de la montaña	ISA
Colombia	1000	Sistema Ferroviario Central	Ministerio de Transporte
Colombia	2600	Autopistas Urbanas de Peaje	Alcaldía de Bogotá
Ecuador	2000	Planta de Generación Hidroeléctrica Coca-Codo Sinclair	Ministerio de Electricidad y Energía
Guatémala	1600	Expansión estratégica del Sistema Nacional de Electricidad	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
México	642	171 CCC AGUA PRIETaII	Comisión Federal de Electricidad
México	197	Fase 1 del Parque Eólico Piedra Larga	Demex
México	446	Acuerdo El Zapotillo	Conagua
México	250	Aeropuerto Rivera Maya	Estado de Quintana Roo

Panamá	1000	Metro de Panamá Línea 1	Secretaría del Metro de Panamá
Perú	2000	Modernización Refinería La Talara	PetroPeru
Perú	1500	Gasoducto a Trujillo	Petroinversión
Perú	1300	Nodo Energético del Sur	Petroinversión

Fuente: CG/LA infrastructure LLC

Elaborado por: El investigador.

El acero galvanizado puede disminuir considerablemente los costes económicos de mantenimiento, se ha estimado que los daños provocados por la corrosión representan un mínimo de un 4% del producto interior bruto de un país, estimándose un mayor porcentaje en los países en vías de desarrollo. Hasta ahora la Corrosión del acero ha constituido un problema mundial y con grandes costes económicos. (“Cerrajerías Martínez e Hijos,” n.d.).

Según Juan Antonio Cuartero las metodologías ágiles son el nuevo paradigma empresarial que actualmente las empresas demandan ya que su principal finalidad es la mejora de la productividad y competitividad de una empresa o negocio, las metodologías ágiles ofrecen una serie de ventajas frente a las metodologías tradicionales, entre la que sobresale es la facilidad de priorización de tareas según las necesidades, la participación y directa por el cliente. Una adecuada aplicación proporciona mejoras a todos los niveles de desarrollo con una reducción de un 30% hasta un 75% en el Time to market, un 50% en fallos operativos e incrementos de la productividad de entre 30% hasta 50%. Existen algunos tipos de metodologías ágiles, como principales se tiene Scrum y Kanban, que pueden trabajar bajo diferentes enfoques o filosofías, entre las que sobresalen Lean y Six Sigma. Aunque lo ideal a la hora de emprender un proyecto bajo el esquema ágil es la combinación de todas ellas (Cuartero, 2018).

Según Humberto Pérez, en su proyecto de investigación sobre el impacto de Lean Six Sigma en organizaciones latinoamericanas y sus efectos críticos de éxito indica la reducción de costos operativos en un 56% en las organizaciones, debido a las mejoras realizadas en los procesos, productos y servicios con dicha metodología. Así también como la reducción de tiempos de entrega con un 33% debido a la reducción de tiempos de ciclo en los procesos, y la reducción de fallas en procesos, productos y servicios con un 11% debido a que esta metodología permite analizar

los riesgos operativos, diseñar e implementar controles y planes de monitoreo. Además, el efecto también se refleja en las tres principales partes de un negocio como son los clientes, empleados y accionistas. (Pérez Ortiz, 2016)

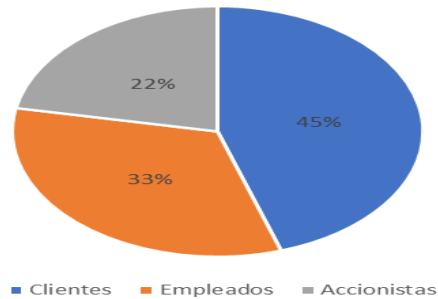


Figura 2. Beneficios de las principales partes interesadas de las organizaciones con los resultados Lean Six Sigma

Fuente:(Pérez Ortiz, 2016)

Elaborado por: El investigador

Meso

En el Ecuador existen registradas 60 empresas dedicadas a fabricación de productos primarios y de acabados de hierro y acero, donde la mayor concentración de empresas se encuentran en la provincia de Pichincha con el 31%, Guayas con el 19%, Imbabura con el 16%, Azuay con el 9% y resto de provincias con el 25%; clasificadas en Grande, Mediana, Micro y Pequeña empresa (Corporación Financiera Nacional, 2017).

Tabla 2. Industrias Básicas de Hierro y Acero

Industrias Básicas de Hierro y Acero (C2410)	N° de Empresas 2016
Grande	13
Mediana	11
Micro	23
Pequeña	13
Total	60

Fuente: Corporación Financiera Nacional.

Elaborado por: El investigador.

Según la Empresa Votorantim, Ecuador uno de los países de la región que tiene gran potencial de crecimiento dentro de la cadena del acero galvanizado con lo cual el interés de esta empresa brasileña que desea trabajar con empresas proveedoras y productoras de acero en el país. En el Ecuador existe actualmente el Comité de

Galvanizadores de la Federación Ecuatoriana de Industrias del Metal (FEDIMETAL), quien realiza capacitaciones para mejorar el proceso de galvanizado y con ello elevar su productividad.(Vela Cesar, 2015)

FEDIMETAL está conformado por 9 Empresas que son Fadhelec Cía. Ltda., Galvanorte Cía. Ltda., Ideal Alambre Bekaert, Ipac Industria Procesadora de Acero S. A., Kubiec Cubiertas de Ecuador S.A., Novaceros S.A., Tubería Galvanizada Ecuatoriana S.A., Sedemi y Nexa Rosources, estas empresas ofrecen servicios y productos galvanizados al mercado nacional e internacional con una capacidad de respuesta en producción propia de 63.000,00 toneladas/año y en servicio de galvanizado de 27.000,00 toneladas/año con una producción total de galvanizado de 90.000,00 toneladas/año (FEDIMETAL, 2017).

Micro

FADHELEC CÍA. LTDA. es una empresa de categoría PYMES constituida en el 2000, fundada con el nombre de Metal-Mecánica Becerra, durante 9 años fue ampliando su portafolio de productos enfocando su esfuerzo en la fabricación de herrajes eléctricos y telefónicos. Debido al crecimiento de la empresa en el 2009 se cambió el nombre a Fabricación y Distribución de Herrajes Eléctricos Fadhelec CÍA LTDA., y tomó la decisión de comprar maquinaria para la incorporación del área de metalmecánica cuyo objetivo era la diversificación de nuevos productos, además, la empresa consolidó el proceso de galvanizado por inmersión al caliente, este proceso es una práctica muy común para proteger el acero de condiciones ambientales a las que pudiese estar expuesto (“Fadhelec CIA LTDA,” 2018).

A partir del 2014, se decidió comprar un terreno en el sector de Calacalí que está considerado como parque industrial de Quito con el fin de ampliar las instalaciones, la Empresa cuenta con la instalación de dos naves industriales, la Planta de Fabricación y las Bodegas. La Empresa en la actualidad tiene más de 35 colaboradores que trabajan en el área administrativas y producción, dedicados a la fabricación de herrajes eléctricos, postes, material eléctrico y trabajo de galvanizado para producción propia y de servicio (Rodrigo, 2013).

Las principales empresas con las que trabaja Fadhelec son: Elepcosa, EEASA, Empresa Eléctrica Quito S.A., Empresa Eléctrica de Azogues, Corporación nacional de Electricidad, Emel Norte, CNEL Santo Domingo, GAD Municipal de Ambato, EERSSA y Centro Sur (“Fadhelec CIA LTDA,” 2018).

Marco Teórico

Corrosión

También conocida como oxidación, es un fenómeno natural en donde los metales tienden a volver a su estado natural. Sin embargo, el empleo de sistemas adecuados de protección en el inicio de un proyecto, tal como la galvanización en caliente, puede reducir significativamente los costos anuales.

Galvanizado

El galvanizado por inmersión en caliente consiste en recubrir el acero base con una capa de zinc unido metalúrgicamente. Dicho recubrimiento proporciona una excelente protección frente a la corrosión. Es el proceso mediante el cual se cubre un metal con otro, con el fin de evitar que la abrasión y corrosión lo afecte.

Hay dos tipos de procesos a través de los cuales se puede realizar: galvanizado por inmersión en caliente y el galvanizado en continuo

Galvanización por inmersión en caliente

Consiste en recubrir el acero base con una capa de zinc unido metalúrgicamente. Dicho recubrimiento proporciona una excelente protección frente a la corrosión. El producto que va a ser galvanizado, previamente limpiado de impurezas como grasas y oxidaciones, se introduce en un baño de zinc fundido a 450° C, aleándose con el acero y generándose varias capas con diferentes proporciones de hierro y zinc.

Galvanizado en continuo

Es el proceso utilizado para galvanizar las bobinas de acero laminado de bajo, medio y alto carbono. El proceso se da de manera continua a una línea de

producción automatizada, en la cual, las láminas primero son sometidas a un proceso de limpieza, posteriormente las láminas se calientan, para que finalmente al bañarlas con Zinc, se forme la aleación con el Zinc en su superficie.

Historia del Seis Sigma

Es una filosofía que inicia por los años ochenta en la empresa Motorola como mejoramiento de la calidad y estrategia del mercado, que tomó como objetivo principal reducir la variabilidad crítica que de una u otra forma afectaban el normal desempeño de los procesos. La iniciativa tomo como eje central para mejorar la calidad en Motorola, llamando la atención de altos directivos, quienes apoyaron e hicieron énfasis no solo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua.

Seis Sigma

Es una filosofía que integra el control estadístico de procesos y las herramientas de calidad total para determinar qué tan lejos un proceso se desvía de la perfección, medir cuantas fallas existen y luego eliminarlas con la finalidad de obtener un proceso con cero defectos. Para su ejecución emplea cinco pasos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAMC).

Estructura del Seis Sigma

La implementación del Seis Sigma tiene como propósito mejorar y optimizar la organización mediante proyectos mediables aplicando su metodología que consta de 5 pasos:

Definir: Se define el proyecto o problema de calidad, recolectando información suficiente que permita escuchar las necesidades de los clientes internos y externos.

Medir: Mide las condiciones del problema, analizando la capacidad estadística del proceso (SPC), identifica las variables de entrada y salida según la información recolectada.

Analizar: Analiza las causas del problema, aplicando técnicas estadísticas consistentes, tales como: Diseño experimental Contraste de hipótesis, Modelos lineales.

Mejorar: Mejora las condiciones del proceso, identificando y cuantificando las variables críticas del proceso. Implementa soluciones adecuadas a cada una de las causas encontradas y valorando los resultados.

Controlar: controla las variables críticas del proceso, para que el problema de calidad no sea recurrente.

Antecedentes

Para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente la empresa Fadhelec CIA. LTDA. cuenta con excelentes herramientas y equipos que le permiten operar su proceso de galvanizado, sin embargo, estos no son aprovechados al 100%, se puede decir que para la movilización de los productos a lo largo del proceso del galvanizado se utilizan dos puentes grúas y gancheras o racks donde se cuelgan los productos para su movilización a lo largo del proceso.

Se observa que el proceso lo realizan a base de experiencia, lo que indica que el proceso es controlado empíricamente y con un escaso histórico de información documentada del mismo que permitan determinar las etapas y controles que aseguren un producto final de calidad.

Según Leandro Barahona Castillo (Barahona Castillo & Navarro Infante, 2013) en su tesis Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la Metodología Lean Six Sigma menciona que, como métrica, Six Sigma representa una metodología para medir el desempeño de un proceso en base a su nivel de productos fuera de especificación. Como filosofía de trabajo, significa mejoramiento continuo de procesos y de productos apoyado en la

metodología Six Sigma o DMAIC. Como meta, un proceso con nivel de calidad Six Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial de 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO).

Según Pablo Zuluaga Arcila (Zuluaga, 2016) en su trabajo de investigación para la Aplicación de la metodología Six Sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa Metalmecánica indica que para el desarrollo de la metodología Six Sigma puede enfocarse de diferentes maneras de acuerdo a las expectativas que cada empresa tiene, con ayuda del personal que interactúa en el proceso identificando cual es el problema de calidad que más agobia a la compañía, ya que si se concentraban los esfuerzos en problemas que a la larga iban a tener poco impacto, los resultados hubiesen podido ser poco representativos y la metodología elegida hubiese podido ser impugnada.

Según Raúl Echeverría Quispe (Echevarría, 2016) en su tesina de Aplicación de la metodología Six Sigma para la mejora en la uniformidad del producto final en una fábrica de neumáticos comenta que, la metodología Six Sigma ha mejorado la uniformidad del producto final evidenciándose en la mejora del valor mínimo de las capacidades del proceso en base a la desviación estándar potencial, al lograr optimizar la variación de fuerzas que impactan a la uniformidad, aislando la que impacta con mayor grado de correlación pudiendo reconocer que la variación de fuerza radial es la que más se debe analizar y controlar, esta mejora sustancial permitió que la fábrica duplique sus ventas.

Según Miguel González Bautista (M. González, 2015) en su proyecto de aplicación de la metodología Seis Sigma en una empresa de diseño, venta y producción de artículos publicitarios indica que la metodología seis sigma posee herramientas de fácil aplicación que ayuda a pensar y recapacitar a todos los miembros de la empresa por igual sin la búsqueda de un único responsable o responsables de las incidencias, además que habla constantemente de la búsqueda de una Calidad que se desglosan en cuatro tipos de calidades distintas, como son la Calidad de servicio, Calidad de procesos, Calidad de productos y Calidad del sistema implantado, todo esto es consecuencia de querer hacer las cosas bien.

Según Mónica Hidalgo Álvarez (Hidalgo, 2013) en su tesis de aplicación de metodología de Seis Sigma en una empresa industrial indica que, para mejorar el proceso productivo y aumentar la productividad de la fábrica de invisibles para el cabello resulta de suma importancia el uso del modelo de calidad Seis Sigma como estrategia de calidad, que permite generar un valor agregado a sus productos y servicio, además que este modelo de calidad permite un análisis del proceso y determinar las causas que a la larga generan pérdida de dinero.

Justificación

La **importancia** del estudio se presenta en la identificación de las variables críticas del proceso de galvanizado, para determinar posibles causas que afectan directamente a la calidad del producto final, mediante la aplicación de metodologías. Además, que por medio de esta investigación se quiere alcanzar la excelencia y el liderazgo en la comercialización, producción y prestación de servicios metalmecánicos, manteniendo políticas de responsabilidad social e impulsando el uso racional de los recursos naturales, mejorando y dando alternativas para la mejora del proceso para concordar con la misión que tiene la empresa.

El **impacto** que presenta el estudio de investigación es de carácter positivo para la empresa Fadhelec porque le permitirá identificar las fallas más relevantes que tiene el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, evaluar la capacidad del proceso y determinar oportunidades de mejora que permitan a la empresa ser más competitivos en el mercado del galvanizado.

La **utilidad** radica en un estudio de gran aporte para la empresa Fadhelec, porque no se han realizado análisis de la capacidad del proceso, por lo tanto, se mostrará información actualizado y de mucha importancia para dar oportunidades de mejoras al proceso.

El estudio de esta investigación **beneficia** directamente a la empresa Fadhelec, a todos los miembros que participan en el proceso de galvanización de herrajes

eléctricos y, a sus clientes por la mejora de calidad del producto, porque pretende aportar con alternativas para dar solución al proceso de galvanizado en caliente analizando y detectando las posibles causas para prevenir los efectos negativos obteniendo mayor productividad.

Este proyecto es **factible** porque se cuenta con la cooperación de todos los integrantes de la organización, quienes han autorizado la realización de la investigación brindando todas las facilidades con la información necesaria para llevar a cabo este estudio, además de un interés en mejorar.

Objetivos

General

Mejorar el proceso del galvanizado por inmersión en caliente aplicando la metodología Seis Sigma en la empresa FADHELEC CÍA. LTDA.

Específicos

- Identificar los problemas en el proceso del galvanizado por inmersión en caliente, priorizando los items de mayor producción para un adecuado análisis de las causas.
- Realizar un análisis del proceso del galvanizado mediante la metodología Seis Sigma para identificar los puntos críticos del mismo.
- Proponer una alternativa para la mejora en el proceso de galvanizado por inmersión en caliente para cumplimiento de la norma ASTM-A123/A123M-02.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

La Empresa

La empresa Fadhelec CIA. LTDA, está ubicada en el cantón Quito de la provincia de Pichincha en el sector de Calacalí. La empresa está dedicada a la fabricación, galvanización y distribución de herrajes eléctricos como abrazaderas, brazos luminaria, crucetas, pasadores para grapa pistola y demás artículos en esta categoría.

La empresa está distribuida con las siguientes áreas:

- Almacenamiento de producto terminado
- Bodega de producto terminado
- Almacenamiento de materia prima
- Roscado
- Esmerilado
- Taladrado
- Fresadora
- Corte
- Torneado
- Soldadura
- Galvanizado
- Inspección y toma de fallas
- Armado
- Oficinas de Administración
- Parqueadero
- Vestidores
- Servicios higiénicos

A continuación, en la figura 3 se muestra el layout de la distribución actual de la fábrica FADHELEC CIA. LTDA.

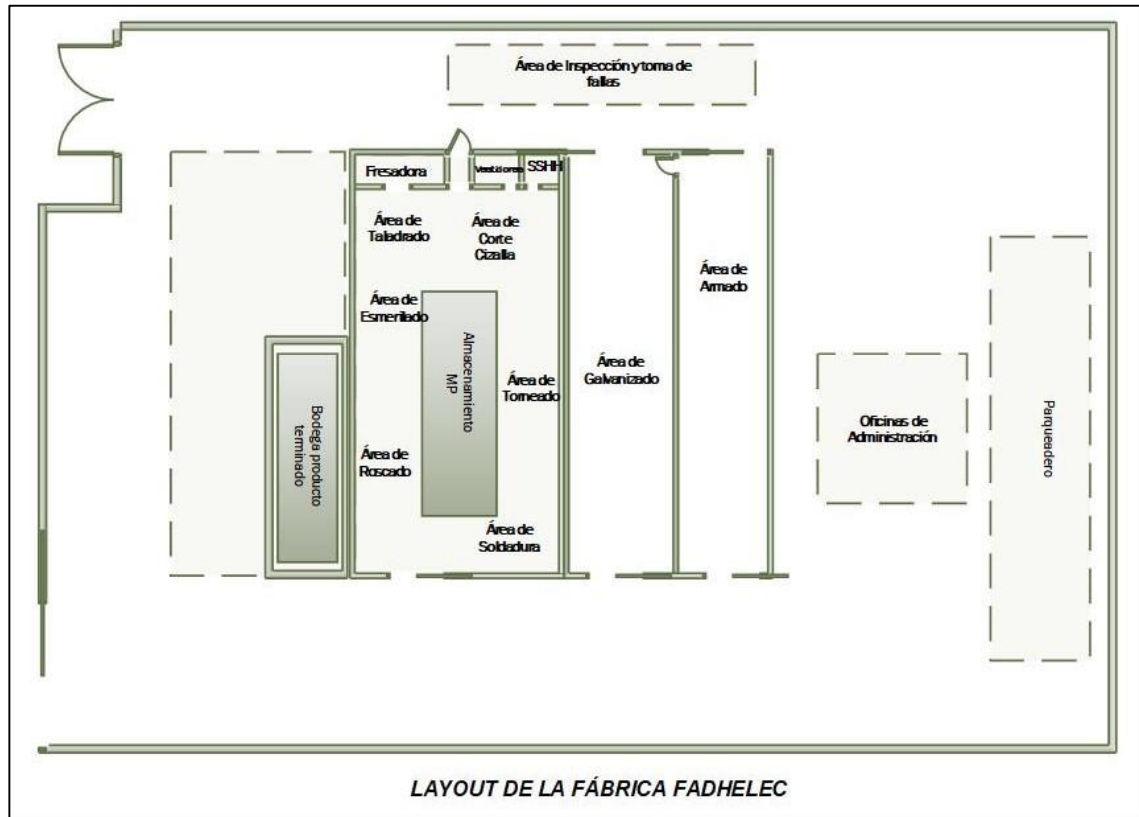


Figura 3. Layout de la fábrica FADHELEC

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador.

El diagnóstico actual del galvanizado se lo realizó mediante: La identificación de las actividades realizadas en el proceso productivo del galvanizado por inmersión en caliente y la aplicación de un check list.

- Descripción breve de las actividades realizadas en el proceso productivo del galvanizado por inmersión en caliente.
- Aplicación de un check list bajo la normativa ASTM A123/A 123M-02 (Especificaciones de norma para el revestimiento de zinc en productos de hierro).

Descripción general del proceso de galvanizado por inmersión en caliente de herrajes eléctricos

En la figura 4 se muestra el diagrama del proceso de galvanizado por inmersión en caliente a modo general.

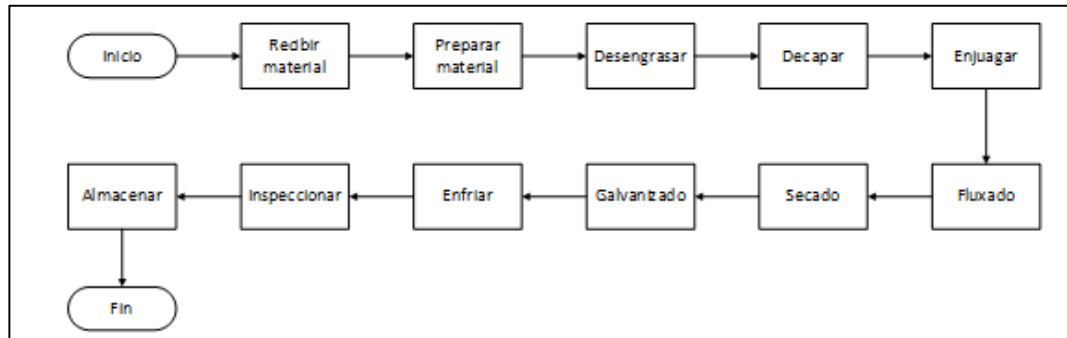


Figura 4. Diagrama de proceso de galvanizado por inmersión en caliente

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Etapas del proceso de galvanizado por inmersión en caliente:

Recepción de material: En esta etapa se recibe el material a galvanizar, se registra el nombre del proveedor (interno o externo), el tipo de material y la cantidad, se utiliza balanzas electromecánicas para pesar y determinar la cantidad de material que ingresa al proceso.



Figura 5. Recepción de material

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Preparación de material: Se identifica el tipo de producto a galvanizar y se prepara las herramientas a utilizar para las etapas posteriores. Las herramientas que se utilizan dependen del producto y pueden ser gancheras, racks y canastillas que son utilizados para colgar los productos. Además, se necesita de alambre y ganchos para la sujeción y amarre.



Figura 6. Preparación de material

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Etapas de limpieza para el galvanizado por inmersión en caliente

Proceso de Desengrase: Tiene como finalidad la eliminación de impurezas de los diferentes procesos mecánicos a los que el material haya sido sometido previamente y proporcionar una superficie metálica limpia, libre de grasa y aceite, en este proceso se somete las piezas a un baño de agentes desengrasantes ácidos.



Figura 7. Proceso de desengrase

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Proceso de decapado: Tiene como finalidad remover los óxidos de la superficie del acero, es un proceso químico que se realiza para eliminar la capa de óxidos de hierro presente en la superficie del acero y se realiza por inmersión del material en baños de ácido clorhídrico o sulfúrico.



Figura 8. Proceso de decapado

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Proceso de enjuague después del decapado: Esta operación es necesaria y consiste en sumergir por completo las piezas en agua limpia para retirar los residuos de cloruro de hierro y que estos no lleguen al baño de fluxado y galvanizado.

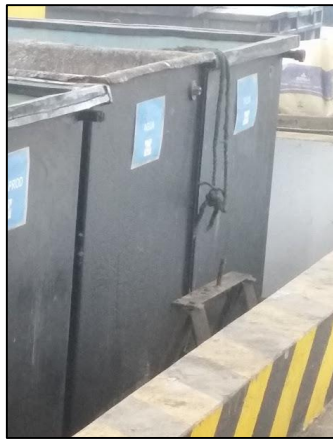


Figura 9. Proceso de enjuague después del decapado

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Proceso de fluxado: Es una parte fundamental de la galvanización, su finalidad es favorecer la aleación del zinc fundido al acero, este proceso sirve para asegurar una

mejor adherencia y recubrimiento uniforme del zinc, se realiza mediante la inmersión total de las piezas en una solución de sales. Además, este tratamiento sirve para eliminar cualquier rastro de impureza.



Figura 10. Proceso de fluxado
Fuente: La empresa
Elaborado por: El investigador

Proceso de secado: Facilita el secado del material y sirve para eliminar la humedad de las piezas, ya que estas deben estar secas antes de sumergirlas para evitar explosiones y salpicaduras al momento que entre en contacto con el zinc fundido.

Proceso de galvanizado: Esta etapa es donde se produce la galvanización de las piezas, consiste en la inmersión del material en zinc fundido a una temperatura de 450°C , la velocidad de inmersión será lo más rápido posible, y antes de extraer el material del baño de zinc se debe desespumarse la ceniza de la superficie para que no modifique el aspecto del material, la velocidad de retirada del material será lo más lento posible, de lo contrario puede producirse gotas y grumos en el recubrimiento.



Figura 11. Proceso de galvanizado

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Proceso de enfriamiento: Una vez realizado el proceso del galvanizado las piezas son enfriadas por inmersión en una cuba de agua fría que aceleran el enfriamiento para una rápida manipulación de los operarios.



Figura 12. Proceso de enfriamiento

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Proceso de inspección: La inspección del producto galvanizado por inmersión en caliente debe realizarse para determinar la conformidad del producto con respecto a las especificaciones pertinentes. Los métodos de inspección de productos galvanizados son:

- Visual: Aspecto (Uniformidad en el recubrimiento, Adherencia en el recubrimiento)
- Medición del espesor

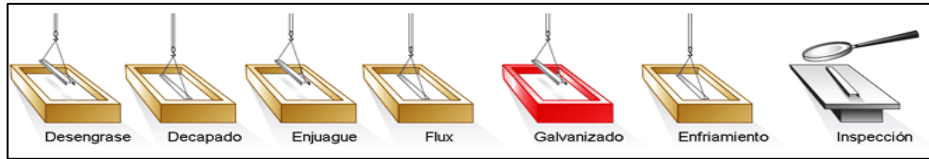


Figura 13. Proceso de galvanizado por inmersión en caliente. Norma ASTM A 123/A 123M-02
 Fuente: GEMESA galvanizadora. Recuperado de <http://www.grupoh7.com/cemesa/normas.htm>
 Elaborado por: El investigador

Toma de fallas: Es importante realizar este procedimiento para asegurar una barrera uniforme de recubrimiento en pequeñas superficies donde no se cubrió con zinc durante la inmersión en el baño.

Almacenamiento: Una vez terminado el proceso los artículos son trasladados al área de bodega de producto terminado utilizando pallet o canastas dependiendo del producto antes de ser entregados al cliente.



Figura 14. Almacenamiento
 Fuente: El investigador
 Elaborado por: El investigador

Check List de acuerdo con la especificación ASTM A 123/A 123M-02

La utilización de esta normativa radica en las Especificaciones técnicas de materiales y equipos del sistema de distribución (fichas técnicas), que indican que el acabado del galvanizado debe ser de acuerdo con las normativas NTE INEN 2484, ASMT A123 (se utiliza para piezas medianas y grandes) y ASTM A 153 (se utiliza para piezas pequeñas que necesitan ser centrifugadas), de aquí la importancia de conocer el cumplimiento de esta especificación en el proceso.

Los resultados que se obtendrán de la evaluación permitirán identificar el nivel de cumplimiento de esta especificación en cuanto a calidad de proceso y producto final, lo que servirá como punto de partida para la presente investigación.

Tabla 3. Check list bajo la normativa ASTM A 123/A 123M-02 (Especificaciones de norma para el revestimiento de zinc en productos de hierro).

Check List para el revestimiento de zinc de acuerdo con la ASTM A 123/A 123M-02					
Empresa: Fadhelec					
Proceso: Galvanizado por inmersión en caliente					
Esta norma cubre los requisitos para revestimiento de zinc mediante el proceso de inmersión en caliente en productos de hierro y acero hechos de secciones laminadas y forjadas, piezas fundidas, placas, barras y flejes.					
Ítem	Requisito	Proceso			Observaciones
		C	NC	NA	
Información del pedido					
1	Las ordenes de revestimiento entregadas bajo esta especificación deben incluir lo siguiente:				
	Cantidad (número de piezas a galvanizar) y peso total.	x			Número de piezas no se identifica
	Descripción (tipo y tamaño de los productos) y peso.	x			
	Designación de la especificación ASTM y el año de emisión.		x		
	Identificación del material y condiciones de la superficie o contaminación.		x		
	Plan de muestreo.		x		
	Requisito de controles especiales.		x		
	Requisitos especiales (apilamiento especial, peso mayor del revestimiento, etc.).			X	
	Etiquetado o método de identificación de la pieza.		x		
Materiales y manufactura					
2	Acero o Hierro ¿El comprador (cliente) informa al galvanizador la especificación, clase o designación, tipo y grado de contaminación de la superficie del hierro o acero en artículos a galvanizar?		x		
	Zinc ¿El zinc usado en el baño de galvanizado es conforme con la especificación B6? ¿Si se usa una aleación de zinc como alimentación primaria para el baño de galvanizado, entonces el material base usado para hacer esa aleación debe estar conforme con la especificación B6?	x			
	Composición del baño ¿El metal fundido en el volumen de trabajo del baño de galvanizado contiene no menos de un valor promedio de 98,0% de zinc por peso?	x			
3	Propiedades del revestimiento				

	Espesor del revestimiento ¿El espesor promedio del revestimiento garantiza que todos los especímenes están de acuerdo con los requerimientos de la Tabla 1 de esta normativa para las categorías y espesores del material a galvanizar? ¿En el caso de pedidos en unidades pulgada-libra, el valor es medido utilizando el convertidor a unidades de clase de revestimiento mediante la Tabla 2 de esta normativa?		x		
	Acabado ¿El revestimiento es continuo y razonablemente parejo y uniforme en espesor según lo permitan el peso, tamaño, forma del artículo y manipulación del artículo durante las operaciones de inmersión y drenaje en la caldera de galvanizado?		x		
	Aspecto ¿Los artículos galvanizados están libres de áreas sin revestir, burbujas, depósitos de flujo e incluso de escoria bruta?		x		
	Adherencia ¿El revestimiento de zinc soporta la manipulación constante con la naturaleza y espesor del revestimiento y el uso normal del artículo sin pelarse ni descascararse?	x			
Muestreo					
4	¿Tienen establecido un sistema de muestreo que garantice la toma adecuada de muestras para un control? ¿Con el sistema de muestreo se garantiza que los artículos identificados para el muestreo han sido galvanizados dentro del mismo turno de producción y en el mismo baño?		x		
Métodos de control					
	Requisitos de control ¿Realizan controles para asegurar que el revestimiento de zinc se entregue de conformidad con la especificación?		x		
5	Control de espesor de revestimiento ¿Realizan el control del espesor de revestimiento utilizando el método de mediciones magnéticas de espesor, método de descortamiento, método de pesaje antes y después de galvanizado, método de microscopio o método de árbitro?	x			Mediciones magnéticas de espesor
	Adhesión ¿Realizan alguna prueba que determine la adhesión del revestimiento de zinc?		x		
	Quebrantamiento ¿Realizan algún control para el quebrantamiento? Nota: Este control no se requerirá a menos que existan una evidencia contundente de quebrantamiento.			X	
Inspección, Rechazo y Re control					
6	¿Existe un programa de inspección en planta para mantener el espesor de revestimiento, acabado y aspecto dentro de los requisitos de la norma?		x		

Fuente: Normativa ASTM A 123/A 123M-02

Elaborado por: El investigador

Resultados del Check List de la situación actual de la Empresa

En la Tabla 4 se presenta el número de Conformidades (C), No Conformidades (NC) y los No Aplican (NA) encontrados, resultado de la aplicación del check list de diagnóstico a la empresa Fadhelec, este check list fue elaborado bajo la normativa ASTM A 123/A 123M-02 (Especificaciones de norma para el revestimiento de zinc en productos de hierro) con la finalidad de validar el nivel de cumplimiento para el revestimiento de zinc (galvanizado) en los productos galvanizados de la empresa.

Tabla 4. Resumen de resultados Check List Inicial

REQUISITOS	C	NC	NA	TOTAL
Información del pedido	2	5	1	8
Materiales y manufactura	2	1	0	3
Propiedades del revestimiento	1	3	0	4
Muestreo	0	1	0	1
Métodos de control	1	2	1	4
Inspección Rechazo y Re control	0	1	0	1
SUMATORIA	6	13	2	21

Fuente: Normativa ASTM A 123/A 123M-02

Elaborado por: El investigador

En la Tabla 5 se muestra el porcentaje de cumplimiento, no cumplimiento y no aplican del total del proceso de galvanizado por inmersión en caliente con respecto a la normativa ASTM A 123/A 123M-02.

Tabla 5. Resultados Check List Inicial

PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE	PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE		
	C	NC	NA
	6	13	2
	28.57%	61.90%	9.52%

Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: El investigador

En la Tabla 6, se muestra la escala de criterios para seleccionar el principal problema mediante una matriz de priorización de problemas.

Tabla 6. Escala de criterios de la matriz de priorización de problemas

ítem	Criterio	Explicación	Descripción	Puntaje
1	Tiempo de implementación	Es el tiempo en el cual se solucionará el problema	Hasta 3 meses	15
			De 3 a 6 meses	10
			Más de 12 meses	5
2	Complejidad	Es la relación del problema con el lugar de trabajo y los clientes internos y externos	Afecta solo a una parte del proceso	5
			Afecta a todo el proceso y clientes internos	10
			Afecta a todo el proceso, clientes internos y se relaciona directamente con los clientes externos	15
3	Conocimientos requeridos	Mide el grado de conocimientos requeridos para operar el proceso	Requiere Capacitación interna (Menos de \$ 500 dólares/año)	5
			Requiere Capacitación externa (Entre \$ 500 y \$ 2 500 dólares/año)	10
			Requiere Capacitación interna, externa y seminarios prácticos (Más de \$ 2 500 dólares/año)	15
4	Recursos financieros	Es la cantidad de recursos a invertir para solucionar el problema	Baja inversión (Menos de \$ 5 000 dólares)	15
			Mediana inversión (Entre \$ 5 000 y \$ 20 000 dólares)	10
			Alta inversión (Más de \$ 20 000 dólares)	5

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

En la Tabla 7 indica la matriz de priorización de problemas, la cual fue realizada en base a los criterios descritos en la Tabla anterior.

Tabla 7. Matriz de Priorización de Problemas

Item	Problemas	Tiempo de implementación	Complejidad	Conocimientos requeridos	Recursos financieros	Puntaje total
1	Información del pedido	10	10	10	5	35
2	Materiales y manufactura	10	5	5	10	30
3	Propiedades del revestimiento	10	15	15	15	55
4	Muestreo	5	10	15	15	45
5	Métodos de control	5	10	15	15	45
6	Inspección Rechazo y Re control	5	10	10	10	35

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

De acuerdo con los resultados obtenidos en la matriz de priorización de problemas, las propiedades de revestimiento, el muestreo y los métodos de control son los problemas principales que existen en la empresa. Sin embargo, el problema seleccionado para analizar es las propiedades de revestimiento.

Área de estudio

Dominio:

Línea de Investigación: Empresarialidad y Productividad

Esta línea de investigación se orienta por un lado al estudio de la capacidad de emprendimiento o empresarialidad de la región, así como su entorno jurídico-empresarial; es decir, de repotenciación y/o creación de nuevos negocios o industrias que ingresan al mercado con un componente de innovación. Por otro lado, el estudio de las empresas existentes en un mercado, en una región, se enmarcará en la productividad de este tipo de empresas, los factores que condicionan su productividad, la gestión de la calidad de las mismas, y que estas empresas crezcan y sobrevivan en los mercados. En este ámbito es de interés estudiar aspectos como exportaciones, diversificación de la producción y afines (Universidad Tecnológica Indoamérica, 2017).

La siguiente investigación ayudará al análisis del proceso de galvanizado por inmersión en caliente en la empresa FADHELEC para poder relacionar los factores que condicionan la calidad del producto y que por lo tanto inciden a la productividad, mediante el estudio de los sub procesos del galvanizado como es el desengrasante, decapado lavado, flux, secado, galvanización y enfriamiento, que con lleva a poder proponer alternativas de solución para que las empresas crezcan en el mercado ecuatoriano y con un interés de poder realizar exportaciones.

Campo:	Ingeniería Industrial
Área:	Calidad y Producción
Aspectos:	Espesor del recubrimiento, Tiempo de inmersión
Objeto de Estudio:	Proceso de galvanizado por inmersión en caliente
Periodo de Análisis:	Junio 2018 a Enero 2019

Modelo operativo

El enfoque Seis Sigma tiene a su disposición las metodologías DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar (del inglés Improve) y Controlar) y DMADV Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar), siendo la primera manejada en la reducción de problemas y la segunda en el diseño de productos, servicios o procesos. (Gutiérrez & De La Vara, 2013a).

En este proyecto se utilizará la metodología DMAIC.

SEIS SIGMA PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE EN LA EMPRESA FADHELEC CÍA. LTDA

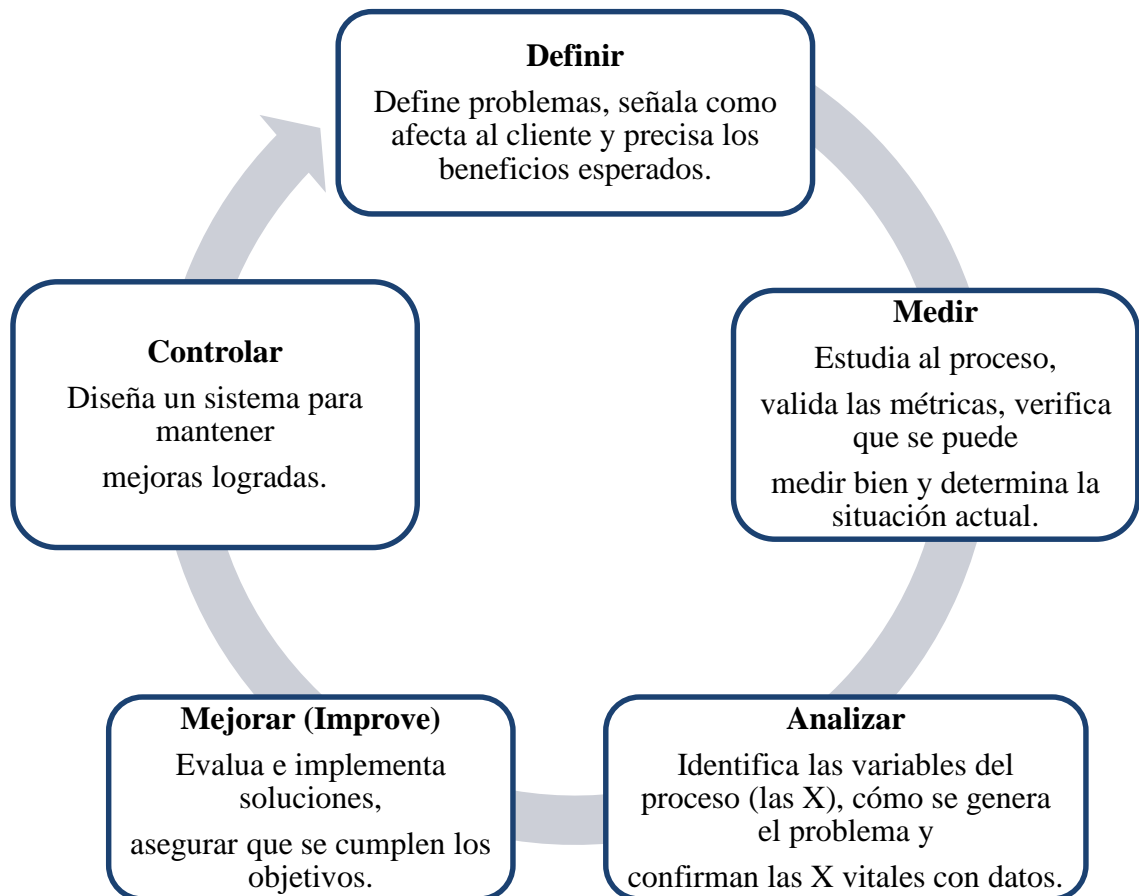


Figura 15. Modelo operativo las 5 etapas de para la realización de un proyecto 6σ

Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2013a)

Elaborado por: El investigador

Definir

Se enfoca en la definición del proyecto, para lo cual se utilizarán las siguientes herramientas que permitirán tener claro el objetivo, el alcance, los beneficios y las personas que intervendrán.

Inicialmente, para el diagnóstico de la situación actual de la empresa se aplicó un check list basado en la normativa ASTM A 123/A 123M-02 que permitió identificar las falencias del proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

- Se utiliza un diagrama de Pareto, para determinar los productos que formaran parte del estudio.
- Se realizará un mapeo del proceso a un nivel micro.
- Además, se utilizará un diagrama PEPSU (Proveedores, las Entradas, el Proceso mismo, las Salidas y los Usuarios), que permita analizar el proceso y el entorno identificando las entradas, salidas, el proceso en sí, y quienes intervienen en él.
- Se establece el marco del proyecto Seis Sigma (Project Charter)

Medir

Para entender y cuantificar mejor la dimensión del problema que pretende atacar el proyecto se utilizaran las siguientes herramientas:

- Muestreo, se realiza con el fin de establecer la cantidad específica de datos a recolectar para el desarrollo de la investigación.
- Cálculo de DPMO (defectos por millón de oportunidades).
- Cálculo del Yield del proceso.
- Determinación del nivel sigma del proceso
- Prueba de normalidad Anderson – Darling, permite analizar y determinar si los datos recolectados siguen una distribución específica.
- Indicador Cpk (Indicador de la capacidad real de un proceso).

Analizar

En esta etapa se identifican y confirman la causa raíz del problema, que son confirmadas con datos, para lo cual se aplicarán las siguientes herramientas:

- Diagrama Ishikawa.
- Metodología AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas).
- Técnica de los cinco por qué.

Mejorar

- Análisis de correlación de variables
- Análisis de regresión lineal
- Desarrollo del plan de mejora

Controlar

- Hojas de verificación
- Indicador Cpk

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Desarrollo de la Fase Definir

En la situación actual de la empresa se pudo definir como problema principal a las propiedades del revestimiento mediante una matriz de priorización de problemas como se observa en la Tabla 7.

Para establecer el alcance que tendrá este proyecto se parte del análisis de la producción de los productos que galvaniza la empresa durante los meses de junio a octubre 2018, según se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Productos galvanizados

Productos	Peso (Kg)
Brazos luminaria	40515,54
Brazos tensores	39975,00
Crucetas	33760,20
Abrazadera	15196,10
Varillas	14153,00
Pie amigo	10797,10
Bastidores	7511,50
Postes	4400,00
Coronas	4241,60
Tubos	1618,00
Herrajes	970,00
Porta transformador	330,60
Ángulos	280,60
Parrilla	280,00
Porta neutros	219,20
Templadores	178,00
Estribos	166,00
Eslabones	107,00
Palomillas	104,00
Collarines	66,50
Matriz	58,00

Fuente: La empresa

Elaborado por: El Investigador

Según José Ignacio Gonzales Gómez indica que cuando se trabaja con grades volúmenes de información tanto cuantitativas como cualitativas es recomendable

para determinados análisis segmentar la información para centralizar lo más relevante y para ello se suele emplear la ley de Pareto. El principal uso que tiene este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización (J. González, 2017).

Por lo tanto, como segundo paso y con el objetivo de determinar cuáles serán los productos que formarán parte del estudio y debido que se tiene una gran cantidad de elementos se utiliza un diagrama de Pareto con la finalidad de priorizar los elementos que incluya al 80% de producción.

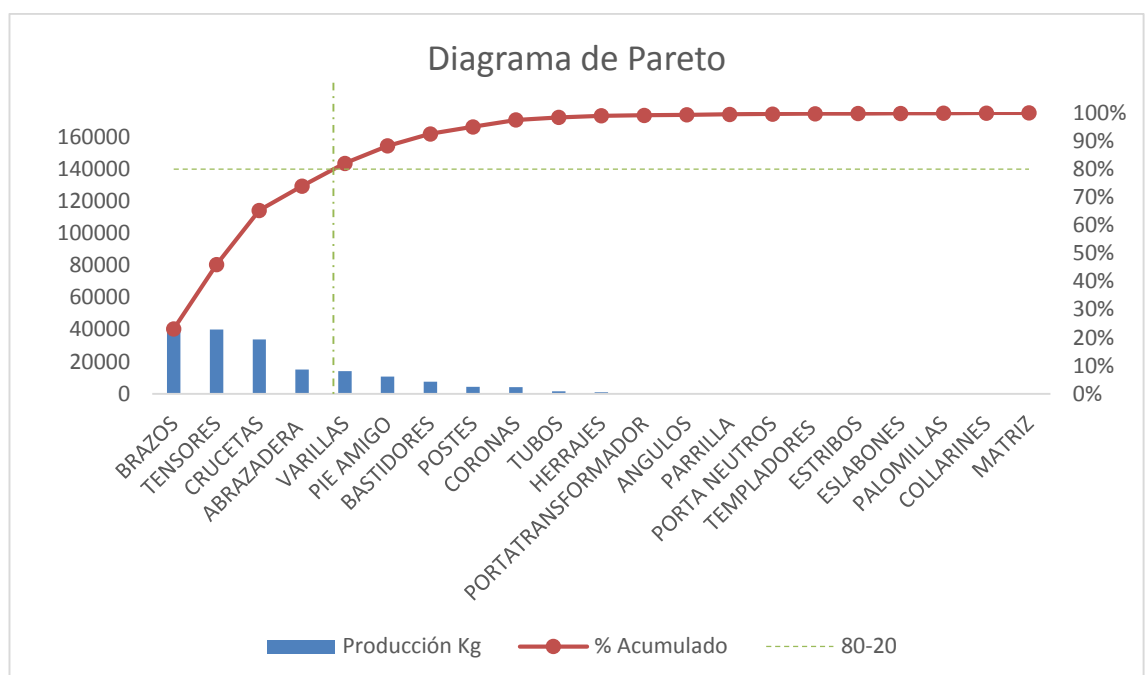


Figura 16. Diagrama de Pareto de los productos

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Como se observa en la figura 16 los productos que representan el 80% de la producción en el periodo de análisis son los brazos luminaria, brazos tensores, crucetas y abrazaderas, por lo tanto, estos productos serán los estudiados en el proyecto.

Diagramas de Procesos

Una vez identificado los productos que serán parte del estudio se realizará los diagramas de procesos que son: diagrama de flujo de procesos y el PEPSU. El diagrama de flujo de proceso de galvanizado por inmersión en caliente se lo

realizará a nivel micro, que abarca desde la recepción del material hasta el almacenamiento, el cual ayudará a identificar las etapas que tiene el proceso; tal como se detalla en la figura 17.

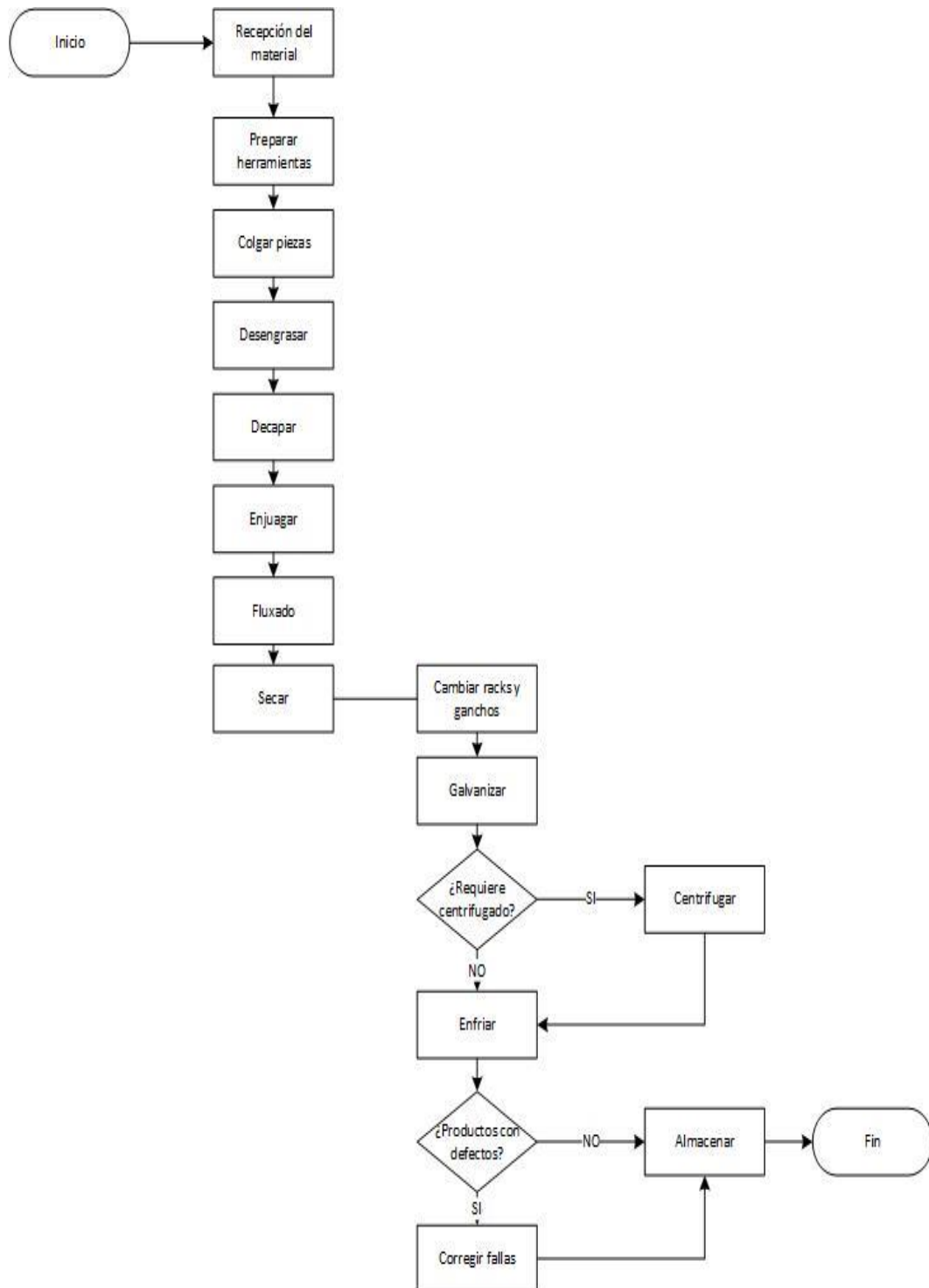


Figura 17. Mapa del proceso nivel micro
 Fuente: La empresa
 Elaborado por: El investigador

A continuación, se realizará el PEPSU que es un diagrama que analizará el proceso y la relación que tiene con el entorno identificando los proveedores, las entradas, el proceso mismo, las salidas y los usuarios con el fin de conocer las variables que tiene el proceso, tal como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. PEPSU del proceso del galvanizado

Proveedores	Entradas / Insumos	Procesos	Salidas	Usuarios / Clientes
<ul style="list-style-type: none"> - Proveedores de productos químicos (Desengrase, Flux, Ácido clorhídrico) - Empresa de agua potable - Proveedores de lingotes de Zinc - Proveedor de energía eléctrica - Proveedores de pinturas 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua - Desengrasante - Sales flux - Alambre - Zinc - Ácido Clorhídrico - Pintura en spray 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recibir material 2. Preparar material 3. Desengrasar 4. Decapar 5. Enjuague 6. Fluxado 7. Secado 8. Galvanizado 9. Enfriar 10. Inspeccionar 11. Almacenar 	<ul style="list-style-type: none"> - Herrajes eléctricos galvanizados 	<ul style="list-style-type: none"> - Clientes Internos - Clientes Externos

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Cuadro de proyecto (Project Charter)

Para concluir la fase Definir se expondrá el cuadro de proyecto (Project Charter), el cual es un resumen del marco general del proyecto.

Tabla 10. Cuadro del Proyecto (Project Charter)

Proyecto	Reducción de la variabilidad de las propiedades del revestimiento del zinc en los herrajes eléctricos galvanizados por inmersión en caliente.
Definición	Durante el periodo de junio a octubre de 2018 se galvanizo 32361.71 kg de los productos que representan el 80% de la producción en el periodo de análisis.
Objetivo	Disminuir los defectos en el revestimiento de los productos y cumplir con la especificación para galvanizados por inmersión en caliente.
Metas	Estandarizar el proceso de galvanizado cumpliendo los parámetros de la normativa ASTM A 123/A 123M-02
Propietario	Fadhelec

Equipo de Trabajo	Gerente de Producción Analista de calidad Operarios de la línea de galvanizado
Alcance	El proyecto abarca desde la recepción de brazos tensores, brazos luminarias, crucetas, y abrazaderas hasta el recubrimiento de zinc de estos herrajes por proceso de inmersión en caliente.
Voz del negocio	La perspectiva de empresa es reducir los costos de producción de galvanizado.
Recursos	Los recursos son: Mano de obra de operarios en la línea de galvanizado Analista o inspector de Calidad Micrómetro digital

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

Desarrollo de la Fase Medir

Esta fase tiene como objetivo entender y considerar la dimensión del problema, midiendo la situación actual, para comprender el punto de inicio del proyecto con respecto a las variables (Y). Por lo tanto, es importante determinar cómo se realizará el muestreo para la recolección de datos basándose en la especificación ASTM A 123/A 123M-02.

Muestreo

De acuerdo con la ASTM A 123/A 123M-02 especificaciones para el revestimiento de zinc (galvanizados por inmersión en caliente) en productos de Hierro y Acero, indica que el muestreo se debe realizar seleccionando los especímenes al azar en cada lote, y el número mínimo de especímenes de cada lote será de acuerdo con la Tabla 11. Además, para controlar las mediciones se considerará que un lote será cuando los artículos han sido galvanizados dentro de un mismo turno de producción y en el mismo baño de zinc.

Tabla 11. Método de selección y número de especímenes

Número de Piezas en:	Número de Especímenes:
3 ó menos	Todos
4 a 500	3
501 a 1200	5
1201 a 3200	8
3201 a 10.000	13
10.001 y más	20

Fuente: ASTM A 123/A 123M-02

Elaborado por: El investigador

Como la especificación ya indica el método de selección y número de especímenes a muestrear por baño, se debe determinar la cantidad específica de baños a muestrear de los productos que representan el 80% de la producción. Para el tamaño muestral se utilizó la siguiente formula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

- N = Total de la población
- $Z_{\alpha} = 1.96$ al cuadrado (si la seguridad es de 95%)
- P = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)
- q = 1-p (en este caso 1-0.05 = 0.95)
- d = precisión (en su investigación use un 5%)

Para determinar la cantidad de baños a muestrear se tomó como referencia la producción estimada en kg de un año de los artículos seleccionados para el estudio, donde se sabe que para cada baño de zinc se ingresa: brazos luminaria 72 kg, brazos tensores 67.2 kg, crucetas 144 kg y abrazaderas 124 kg.

Para obtener la cantidad de baños de zinc se realizó una proyección estimada de un año, en base a los datos recolectados en el periodo de análisis teniendo como un total de la proyección de 3 635 baños al año, tal como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12. Baños de zinc al año de acuerdo a la producción estudiada

Producto	Baños de zinc
Brazos luminaria	1351
Brazos tensores	1428
Crucetas	563
Abrazadera	294
Total	3635

Fuente: La empresa

Elaborado por: El Investigador

A partir de estos datos se calcula el número de baños a muestrear aplicando la ecuación 1, la cual determina que el tamaño muestral que se utilizará en este proyecto es:

$$n = 72 \text{ baños}$$

Como los artículos estudiados son cuatro, se debe determinar la cantidad de baños a muestrear para cada artículo, los mismos que se obtienen de forma porcentual a partir del tamaño de muestra obtenido anteriormente y se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Cantidad de baños a muestrear por producto.

Producto	Baños de zinc	% de baños a muestrear	Cantidad de baños a muestrear	Total de productos a muestras
BRAZOS	1351	37%	27	81
TENSORES	1428	39%	28	84
CRUCETAS	563	15%	11	33
ABRAZADERA	294	8%	6	18
TOTAL	3635	100%	72	216

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Cálculo del Nivel Sigma del Proceso

Los criterios de calidad utilizados para medir los DPMO para atributos se han establecido bajo los principios de la norma ASTM A 123/A 123M-02 donde indica que las propiedades de revestimiento a ser inspeccionadas serán:

Tabla 14. Propiedades del revestimiento a ser inspeccionadas

Productos	Espesor de revestimiento mínimo (micras)	Zonas sin recubrir de zinc	Burbujas o espinillas	Depósitos o flujos	Marcas de cadenas
Brazos luminaria	60	Área ≥ 25 mm ² serán motivo de rechazo	≥ 0.5% del área de la pieza será motivo de rechazo	≥ 0.5% del área de la pieza será motivo de rechazo	Área ≥ 25 mm ² será motivo de rechazo
Brazos tensores	60				
Crucetas	85				
Abrazaderas	75				

Fuente: Norma ASTM A 123/A 123M-02

Elaborado por: El investigador

En la Tabla 15 se detallan los defectos observados en las 216 muestras obtenidas de los cuatro productos en estudio.

Tabla 15. Defectos observados en la muestra

	No cumple espesor de revestimiento	Zonas sin recubrir	Con burbujas o espinillas	Con depósitos o flujos	Con marcas de cadena	Total
Defectos Observados	94	60	41	33	49	277

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

Como primer paso se calcula el índice DPO (defectos por oportunidad), con el fin de medir la no calidad del proceso y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$DPO = \frac{d}{U \times O} \quad (2)$$

Donde:

- d = Número de defectos observados.
- U = Número de unidades inspeccionada.
- O = Número de oportunidades de error por unidad.

$$DPO = \frac{277}{216 \times 5}$$

$$DPO = \frac{277}{1080}$$

$$DPO = 0.2564$$

Lo que significa que 0.2564 es la probabilidad de que aparezca al menos un defecto en una unidad producida.

Una vez obtenido el DPO se procede a evaluar el desempeño del proceso (Yield), utilizando la siguiente ecuación:

$$Yield = (1 - DPO) \times 100 \quad (3)$$

$$Yield = 74.36 \%$$

Lo que significa que el rendimiento del proceso es de 74.36 %.

Para establecer la métrica seis sigmas del proceso del galvanizado es necesario calcular el índice DPMO (defectos por millón de oportunidades), el cual es utilizado para procesos de atributos y que sirve para cuantificar los defectos esperados en un millón de oportunidades de error. A continuación, se presenta la fórmula que se utilizara en el cálculo:

$$DPMO = \frac{1\,000\,000 \times D}{U \times O} \quad \text{ó} \quad DPO \times 1\,000\,000 \quad (4)$$

Donde:

- D = Número de defectos observados en la muestra.
- U = Número de unidades en la muestra (tamaño de la muestra).
- O = Oportunidades de defectos por unidad.

$$DPMO = 0.2564 \times 1\,000\,000$$

$$DPMO = 256\,400$$

El DPMO obtenido indica que en un millón de propiedades de revestimiento inspeccionadas (cinco por producto) se espera tener 256 400 con algún tipo de defecto, lo que demuestra que el proceso no tiene un nivel sigma, ya que la meta sigma es tener 3.4 DPMO como máximo.

Con el DPMO se determina el nivel sigma del proceso de galvanizado, para lo cual se utiliza la tabla de conversión de proceso sigma, la misma que se encuentra a continuación; para encontrar el valor sigma se debe buscar en la columna de Defectos por millón el DPMO obtenido y relacionar con la columna Sigma del Proceso; de ser necesario se tendrá que realizar una interpolación entre los valores seleccionados.

Con el valor de Yield obtenido se busca el nivel sigma en la siguiente Tabla:

Abridged Process Sigma Conversion Table

<i>Long-Term Yield</i>	<i>Process Sigma</i>	<i>Defects Per 1,000,000</i>	<i>Defects Per 100,000</i>	<i>Defects Per 10,000</i>	<i>Defects Per 1,000</i>	<i>Defects Per 100</i>
99.99966%	6.0	3.4	0.34	0.034	0.0034	0.00034
99.9995%	5.9	5	0.5	0.05	0.005	0.0005
99.9992%	5.8	8	0.8	0.08	0.008	0.0008
99.9990%	5.7	10	1	0.1	0.01	0.001
99.9980%	5.6	20	2	0.2	0.02	0.002
99.9970%	5.5	30	3	0.3	0.03	0.003
99.9960%	5.4	40	4	0.4	0.04	0.004
99.9930%	5.3	70	7	0.7	0.07	0.007
99.9900%	5.2	100	10	1.0	0.1	0.01
99.9850%	5.1	150	15	1.5	0.15	0.015
99.9770%	5.0	230	23	2.3	0.23	0.023
99.9670%	4.9	330	33	3.3	0.33	0.033
99.9520%	4.8	480	48	4.8	0.48	0.048
99.9302%	4.7	680	68	6.8	0.68	0.068
99.9040%	4.6	960	96	9.6	0.96	0.096
99.8650%	4.5	1,350	135	13.5	1.35	0.135
99.8140%	4.4	1,860	186	18.6	1.86	0.186
99.7450%	4.3	2,550	255	25.5	2.55	0.255
99.6540%	4.2	3,460	346	34.6	3.46	0.346
99.5340%	4.1	4,660	466	46.6	4.66	0.466
99.3790%	4.0	6,210	621	62.1	6.21	0.621
99.1810%	3.9	8,190	819	81.9	8.19	0.819
98.930%	3.8	10,700	1,070	107	10.7	1.07
98.610%	3.7	13,900	1,390	139	13.9	1.39
98.220%	3.6	17,800	1,780	178	17.8	1.78
97.730%	3.5	22,700	2,270	227	22.7	2.27
97.130%	3.4	28,700	2,870	287	28.7	2.87
96.410%	3.3	35,900	3,590	359	35.9	3.59
95.540%	3.2	44,600	4,460	446	44.6	4.46
94.520%	3.1	54,800	5,480	548	54.8	5.48
93.320%	3.0	66,800	6,680	668	66.8	6.68
91.920%	2.9	80,800	8,080	808	80.8	8.08
90.320%	2.8	96,800	9,680	968	96.8	9.68
88.50%	2.7	115,000	11,500	1,150	115	11.5
86.50%	2.6	135,000	13,500	1,350	135	13.5
84.20%	2.5	158,000	15,800	1,580	158	15.8
81.60%	2.4	184,000	18,400	1,840	184	18.4
78.80%	2.3	212,000	21,200	2,120	212	21.2
75.80%	2.2	242,000	24,200	2,420	242	24.2
72.60%	2.1	274,000	27,400	2,740	274	27.4
69.20%	2.0	308,000	30,800	3,080	308	30.8
65.60%	1.9	344,000	34,400	3,440	344	34.4
61.80%	1.8	382,000	38,200	3,820	382	38.2
58.00%	1.7	420,000	42,000	4,200	420	42
54.00%	1.6	460,000	46,000	4,600	460	46
50%	1.5	500,000	50,000	5,000	500	50
46%	1.4	540,000	54,000	5,400	540	54
43%	1.3	570,000	57,000	5,700	570	57
39%	1.2	610,000	61,000	6,100	610	61
35%	1.1	650,000	65,000	6,500	650	65
31%	1.0	690,000	69,000	6,900	690	69

Figura 18. Tabla de conversión sigma

Fuente: (Gutiérrez Pulido, 2010)

En este caso no existe un valor directo, por lo tanto, se realizó una interpolación entre los valores de 242 000 y 274 000 para los valores de 2.2 y 2.1 teniendo como resultado un valor sigma de 2.15 σ .

Medición de la capacidad del proceso actual

Para estudiar y comprender la situación actual se realiza el análisis de la capacidad del proceso para cada artículo, utilizando como herramienta histogramas y parámetros de medición basado en la especificación ASTM A 123/A 123M-02 y fichas técnicas de los productos, para así determinar la amplitud que tiene el proceso para satisfacer las especificaciones técnicas que demanda el producto.

La capacidad del proceso se mide mediante los indicadores Cp (Indicador de la capacidad potencial del proceso) y Cpk (Indicador de la capacidad real de un proceso), el primero utilizado cuando la media nominal es igual a la media de los datos y el segundo cuando la media nominal es diferente de la media de los datos. Es importante indicar que la interpretación de los índices Cp y Cpk se basa en los supuestos de que las variables tengan una distribución normal (Ortiz & Galleguillos, 2011).

Para calcular la capacidad actual del proceso se utilizará el índice Cpk debido a que las especificaciones del proceso solo establecen un mínimo, es decir el límite de especificación inferior, no teniendo una media nominal. A continuación, se realiza la prueba de normalidad de Anderson - Darling de los productos estudiados utilizando el software Minitab 18, para determinar si los datos siguen o no una distribución normal.

En la figura 19 se muestra la gráfica de la probabilidad normal de los Brazos luminaria

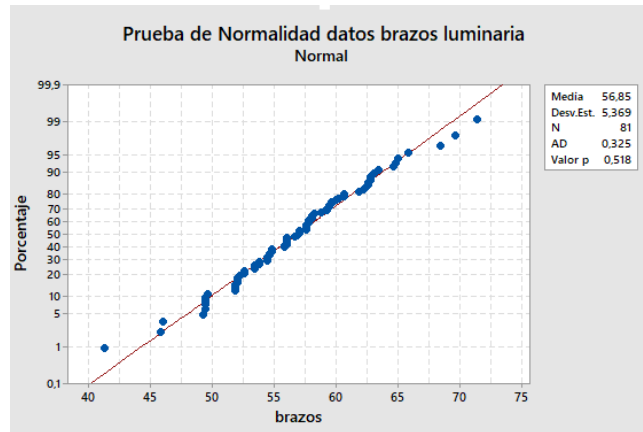


Figura 19. Prueba de normalidad de brazos luminaria
 Fuente: La empresa
 Elaborado por: El investigador

En la prueba de normalidad realizada para los brazos luminaria dio como resultado que el valor de p es 0.518, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

En la figura 20 se muestra la gráfica de la probabilidad normal de los Brazos tensores

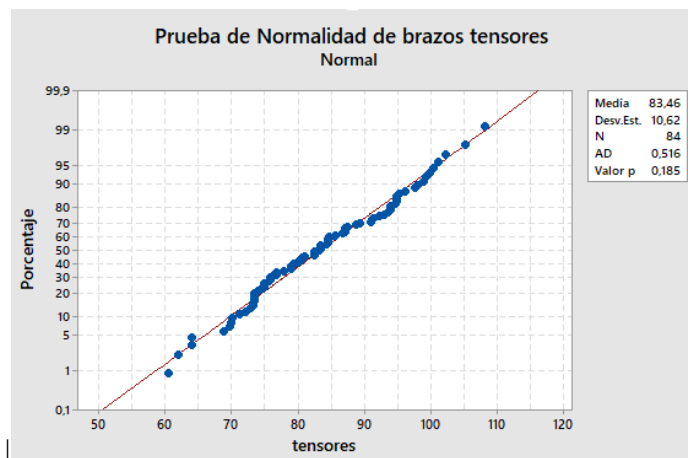


Figura 20. Prueba de normalidad de brazos tensores
 Fuente: La empresa
 Elaborado por: El investigador

En la prueba de normalidad realizada para los brazos tensores dio como resultado que el valor de p es 0.185, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

En la figura 21 se muestra la gráfica de la probabilidad normal de los Crucetas

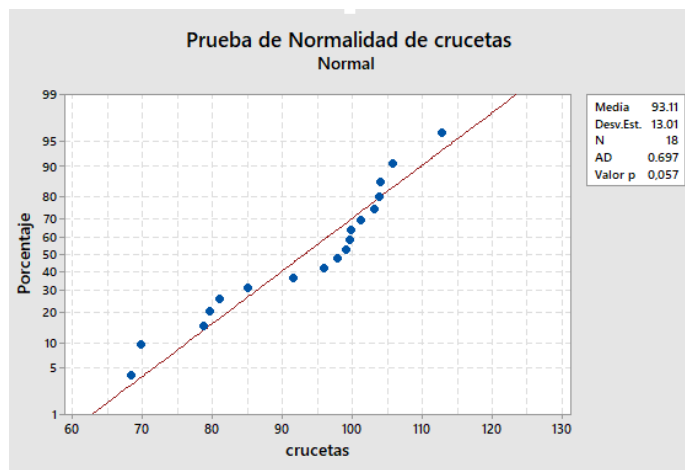


Figura 21. Prueba de normalidad de crucetas

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

En la prueba de normalidad realizada para las crucetas dio como resultado que el valor de p es 0.057, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

En la figura 22 se muestra la gráfica de la probabilidad normal de los Abrazaderas

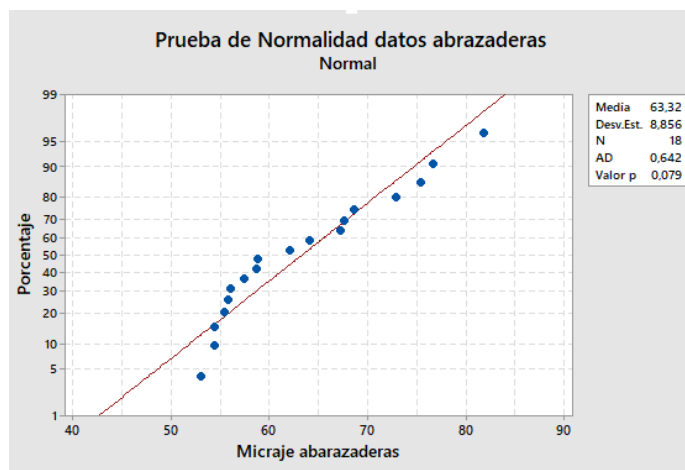


Figura 22. Prueba de normalidad de abrazaderas

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

En la prueba de normalidad realizada para las abrazaderas dio como resultado que el valor de p es 0.079, que es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo tanto, los datos siguen una distribución normal.

Como resultado se obtuvo que los datos recolectados de los productos mantienen una distribución normal, por lo tanto, se procede a realizar el cálculo del Cpk utilizando la siguiente fórmula y se comprobó los resultados con el uso del programa Minitab 18.

$$Cpk = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right] \quad (5)$$

Donde:

- μ = Media del proceso
- EI = Limite de especificación Inferior
- ES = Limite de especificación Superior
- σ = Desviación estándar

En la figura 23 se muestra el histograma de la capacidad de proceso de brazos luminaria

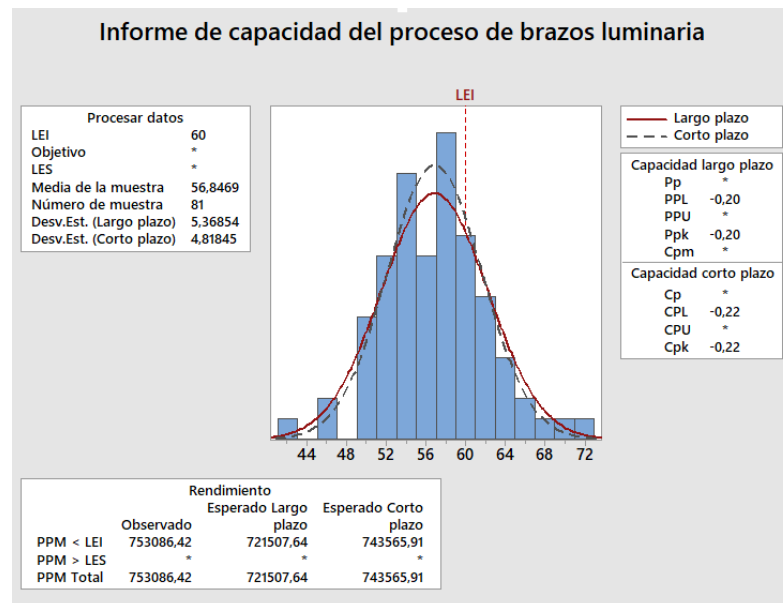


Figura 23. Cpk del proceso de brazos luminaria

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

En la figura 24 se muestra el histograma de la capacidad de proceso de brazos tensores

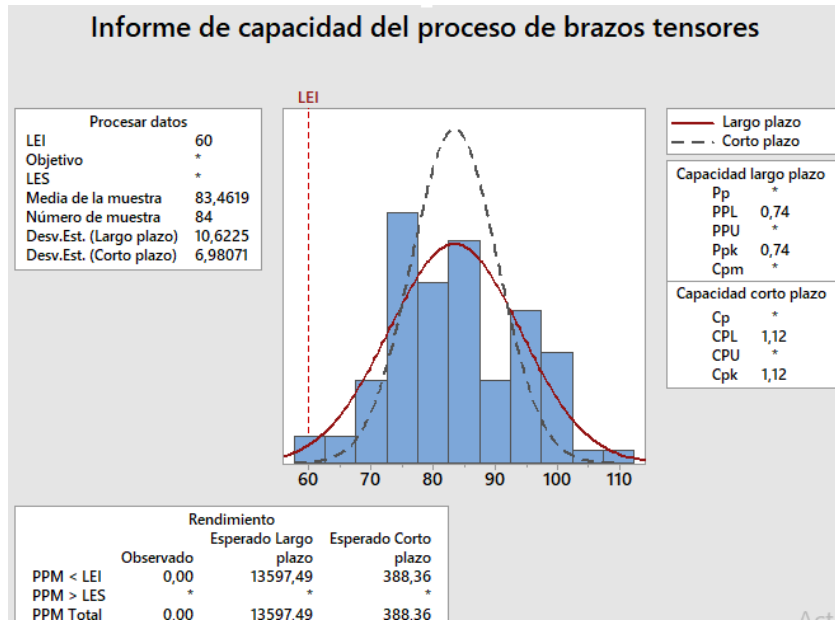


Figura 24. Cpk del proceso de brazos tensores

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

En la figura 25 se muestra el histograma de la capacidad de proceso de crucetas

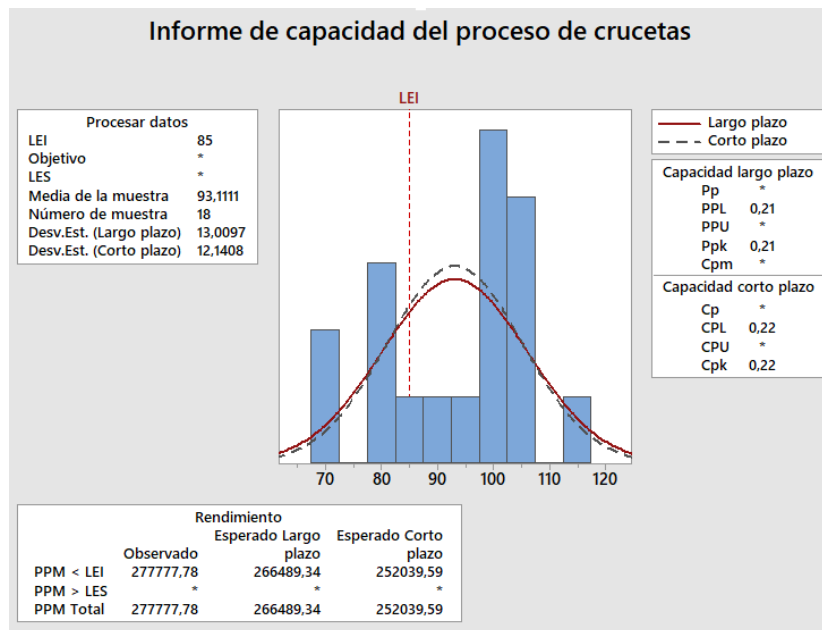


Figura 25. Cpk del proceso de crucetas

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

En la figura 26 se muestra el histograma de la capacidad de proceso de abrazaderas

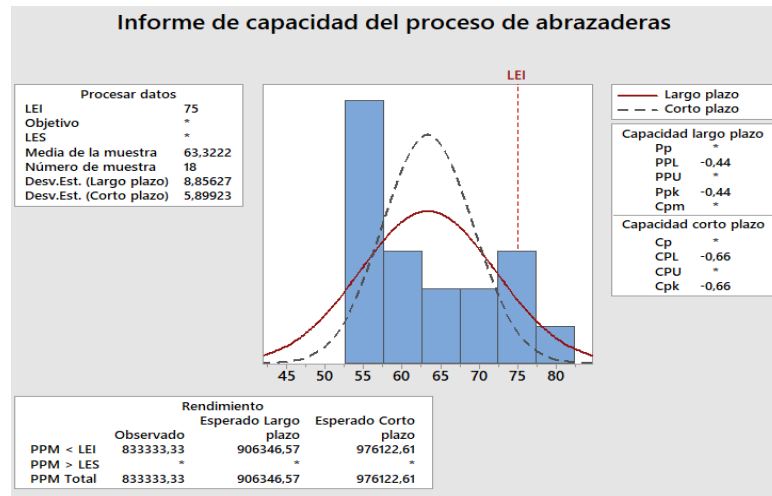


Figura 26. Cpk del proceso de abrazaderas

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Tabla 16. Criterios para determinar la capacidad del proceso

Criterios para determinar la capacidad del proceso	
$Cpk > 1.25$	El proceso es capaz.
$Cpk < 1$	El proceso no es capaz (El proceso no cumple con la especificación).
$Cpk \leq 0$	Indica que la media del proceso está fuera de especificación.

Fuente: (Gutiérrez & De La Vara, 2013a)

Elaborado por: El Investigador

Tabla 17. Resumen de la capacidad del proceso de los cuatro productos

Productos	Espesor de micras	Cpk actual
Brazos luminaria	60	-0.22
Brazos tensores	60	1.12
Crucetas	85	0.22
Abrazaderas	75	-0.66

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

Como se puede apreciar en la Tabla 17 los Cpk obtenidos para los cuatro productos son menores que 1.25, lo que indica que el proceso actual de estos productos no es

capaz, además, en el caso de los brazos luminaria y abrazaderas los valores son negativos lo que sugiere que la media del proceso está fuera de la especificación.

Desarrollo de la Fase Analizar

Con el objetivo de ejecutar el estudio por el camino correcto en la identificación de las variables claves de entrada y los pasos del proceso en los que se debería centralizar este proyecto, se desarrollan dos metodologías sistemáticas de análisis, Diagrama de Ishikawa figura 27 y el método AMEF Tabla 19.

En la figura 27 se observa el diagrama Ishikawa.

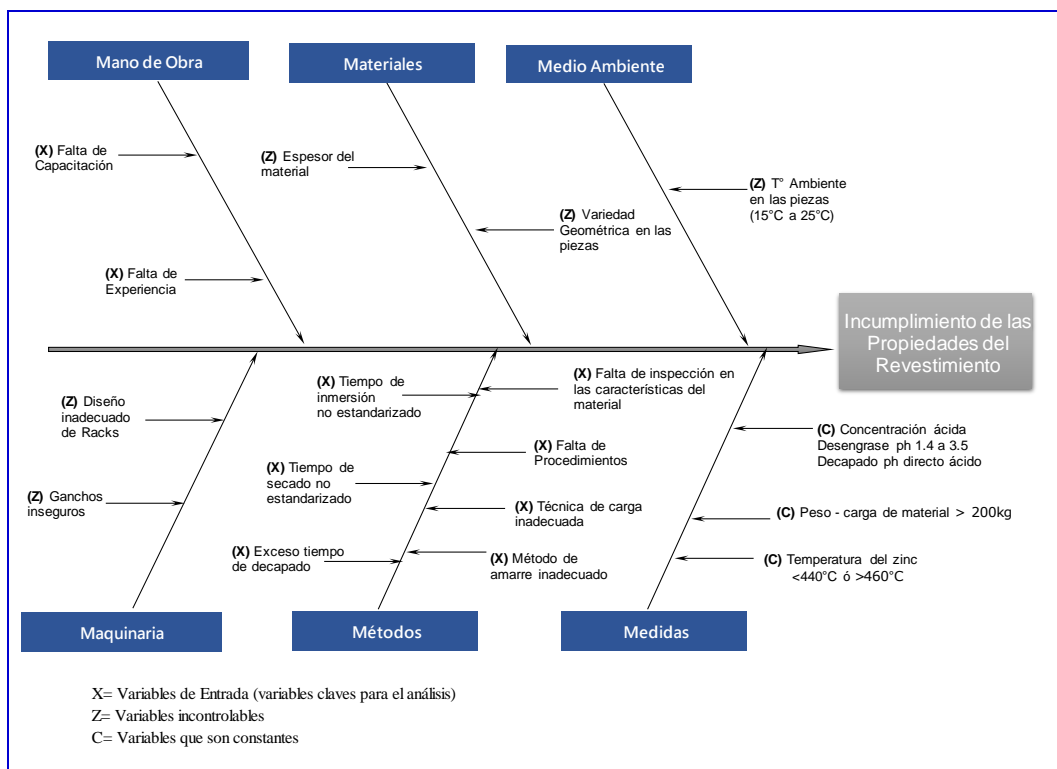


Figura 27. Diagrama Ishikawa

Fuente: La empresa

Elaborado por: El investigador

Mediante el diagrama de Ishikawa se identificaron las causas que generan el incumplimiento en las propiedades del revestimiento en el proceso del galvanizado, las mismas que servirán como punto de partida en la realización del análisis de modo y efecto de falla (AMEF), con el fin de evaluar e identificar que causa es la más predominante.

A continuación, se realiza la metodología AMEF que permitirá identificar las causas potenciales que inciden en las propiedades del revestimiento.

Tabla 18. Criterios de calificación del índice de prioridad de riesgo AMEF

Score Categoría	5	4	3	2	1
Severidad	<u>Severas</u> consecuencias de falla.	<u>Alta</u> consecuencia de falla.	<u>Moderada</u> consecuencia de falla.	<u>Menor</u> consecuencia de falla.	<u>Insignificante</u> consecuencia de falla.
Ocurrencia	<u>Muy alta</u> probabilidad de causar el modo de falla.	<u>Alta</u> probabilidad de causar el modo de falla.	<u>Moderada</u> probabilidad de causar el modo de falla.	<u>Baja</u> probabilidad de causar el modo de falla.	<u>Muy baja</u> probabilidad de causar el modo de falla.
Detección	<u>Muy alta</u> probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente.	<u>Alta</u> probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente.	<u>Moderada</u> probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente.	<u>Baja</u> probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente.	<u>Muy baja</u> probabilidad de que la falla escape de la detección antes de llegar al cliente.

Fuente: (Ortiz & Galleguillos, 2011).

Elaborado por:

El número de prioridad del riesgo es un procedimiento que ha sido usado para ayudar a priorizar las acciones. El NPR se calcula como sigue:

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección$$

Tabla 19. Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) del proceso del galvanizado por inmersión en caliente

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)																	
PROCESO		Proceso de Galvanizado			FECHA CLAVE:				10/08/2018			PAGINA:		DE:			
RESPONSABILIDAD					PREPARADO POR:				Gabriela Arellano								
LIDER DEL PROYECTO					FECHA DE INICIO:				20/0/7/2018			REVISION:					
REVISADO POR												0					
Etapas del Proceso	Modo potencial de la falla	Efectos potenciales de la falla	SEVERIDAD	CCRT	Causa(s) potenciales de la falla	Proceso actual				NPR	Acciones recomendadas	Responsabilidad y fecha compromiso	Resultados de Acciones				
						Controles preventivos	OCURRENCIA	Controles de detección	DETECCIÓN				Acciones tomadas y fecha de finalización	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	NPR
Recepción del material	Falta de inspección en las características del material	Zonas sin recubrimiento de zinc	5	*	Piezas recibidas con áreas cubiertas de pintura	Inspección del material	2	Registro	4	40	Realizar limpieza en el área contaminada	Operario	Sin acciones	5	2	4	40
	Variedad geométrica del material	Dificultad en el proceso de armado y galvanizado, zonas sin recubrir	3		Variable propia del material	Clasificación del material	4	-	2	24	Controlar la calificación del material	Operario	Sin acciones	3	4	2	24
	Espesor del material	Falta de tiempos específicos en la inmersión en cuba de zinc	5		Variable propia del material	Clasificar el material de acuerdo al espesor	4	-	3	60	Controlar la calificación del material	Operario	Sin acciones	5	4	3	60
	Técnica de carga inadecuada	Excesivo tiempo en el proceso de galvanizado, caída de material en las cubas, rearmado de	4		Excesiva carga de material en los racks	Experiencia de operarios Zona de carga	3	-	3	36	Colocar material acorde a la capacidad e las tinas	Operario	Sin acciones	4	3	3	36

		material antes de ingreso a la cuba de zinc															
	Diseño inadecuado de racks	Zonas sin recubrimiento	4		Poca separación entre piezas	Dejar mayor separación entre piezas	3	-	3	36	Diseñar nuevos racks	Operario	Sin acciones	4	3	3	36
	Ganchos inseguros	Riesgo de caída de material en las cubas.	4		Experiencia de operarios Excesiva carga	Experiencia Capacitación	3	-	3	36	Diseñar nuevos ganchos	Operario	Sin acciones	4	3	3	36
Desengrase	Falta de control concentración acida	El químico no cumple su función de eliminar las grasas y aceites.	5		Falta de procedimientos de control	Experiencia de operarios	4	-	4	80	Realizar capacitación al personal	Jefe de Producción	Sin acciones	5	4	4	80
Decapado	Falta de inspección en la concentración acida	El químico no cumple su función de eliminar los óxidos formados y las superficies de las piezas no quedan totalmente limpias.	5		Falta de procedimientos de control	Experiencia de operarios	4	-	4	80	Realizar capacitación al personal	Jefe de Producción	Sin acciones	5	-	-	-
	Exceso de tiempos en el decapado	Exceso recubrimiento	4		Falta de control y capacitación de operadores	Experiencia de operarios, instructivos	4	-	4	64	Realizar capacitación al personal	Jefe de Producción	Sin acciones	4	4	4	64
Enjuague	Falta de renovación de agua	Las partículas acumuladas en el agua se adhieren en la superficie de las piezas	3		Falta de enjuague	Experiencia de operarios, renovación de agua	3	-	3	27	Realizar capacitación al personal	Jefe de Producción	Sin acciones	3	3	3	27

Secado	Tiempo de secado deficiente	Zonas sin recubrimiento	5		Explosiones en la inmersión en la tina de zinc	Experiencia de operarios, instructivos	4	-	3	60	Realizar capacitación al personal	Jefe de Producción	Sin acciones	5	4	3	60
	Tiempos de inmersión no estandarizados	Aumento de tiempo de inmersión, exceso de recubrimiento	5	*	Falta de instructivos y capacitación	Controlar con cronometro el tiempo de inmersión, llenar registros a base de experiencia	4	-	4	80	Establecer tiempos de inmersión por producto	Jefe de operación / Operario	Sin acciones	5	4	4	80
Galvanizado	Amarre de material inadecuado a la entrada	Zonas sin recubrimiento de zinc	5		Poca separación entre piezas	Experiencia de operarios	4	-	4	80	Realizar una inspección de sujeción de las piezas en los racks	Jefe de operación / Operario	Sin acciones	5	4	4	80
	Entrada del material a temperatura ambiente	A bajas temperaturas, poco escurrimiento, aumento de recubrimiento	2		Variable ambiental	Poco tiempo de inmersión con salida de material lenta	2	-	2	8	Realizar inspección de temperatura antes de la inmersión de la pieza	Jefe de operación / Operario	Sin acciones	2	2	2	8
	Temperatura de operación e la tina de zinc	> 460°C Generación de dross <440°C Pizas rugosas	4		Falta de control y capacitación a los operadores	Esperar la T° optima de operación	3	-	3	36	Realizar capacitación al personal	Jefe de Producción	Sin acciones	4	3	3	36
	No consideran hoja de trabajo para espesor	Emplear tiempos de inmersión inadecuados, exceso de recubrimiento o	5		Falta de procedimientos de control	Generar tiempos de inmersión a base de experiencia	4	-	5	100	Realizar hojas de control para tiempos de inmersión.	Jefe de operación / Operario	Sin acciones	5	4	5	100

		falta de recubrimiento															
	Formación de ceniza de la cuba	Adherencia de la ceniza en la superficie de las piezas	4	*	Falta de limpieza de la cuba	Experiencia, capacitación.	3	-	4	48	Realizar una inspección de limpieza de la cuba	Operario	Sin acciones	4	3	4	48
	Generación de dross	Piezas con superficies rugosas	5		Variación de temperaturas.	Generar instructivos y capacitación de los operarios	3	-	4	60	Realizar una inspección de limpieza de la cuba	Operario	Sin acciones	5	3	4	60
	Carga de material > 200 kg	Exceso de tiempos de inmersión, mayor recubrimiento, zonas sin recubrir	5	*	Falta de instructivos y capacitación	Capacitación y control	4	-	3	60	Realizar capacitación al personal	Jefe de Producción	Sin acciones	5	4	3	60
Inspección	Falta de procedimientos	Usar criterios propios para realizar la inspección en las mediciones de calidad	5	*	Falta de instructivos y capacitación	Capacitación y control	4	Registro	4	80	Realizar capacitación al personal realizar hojas de inspección	Jefe de Producción	Sin acciones	5	4	4	80
NOTA: *. Estos procesos requieren controles adicionales; por lo tanto, se debe notificar al responsable del diseño del proceso.																	

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

Tabla 20. Combinación de ambos métodos, Diagrama Ishikawa y AMEF

Etapas del Proceso	Modo potencial de la falla	Índice AMEF	Tipo de variable
Galvanizado	No considerar hoja de trabajo para espesor	100	X
Galvanizado	Tiempos de inmersión no estandarizados	80	X
Galvanizado	Amarre de material inadecuado a la entrada	80	X
Decapado	Falta de inspección en la concentración ácida	80	X
Inspección	Falta de procedimientos	80	X
Desengrase	Falta de control de concentración ácida	80	X
Decapado	Exceso de tiempos en el decapado	64	X
Recepción del material	Espesor del material	60	Z
Secado	Tiempo de secado deficiente	60	X
Galvanizado	Generación de dross	60	X
Galvanizado	Carga de material > 200 kg	60	X

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

Del análisis realizado a las variables que tienen incidencia directamente con las propiedades del revestimiento, se determina que en el proceso no consideran hojas de trabajo que les permita conocer los micrajés requeridos de acuerdo con el tipo de producto que se está galvanizado, por lo tanto, esto se ve reflejado en la calidad de los productos, que al final no cumplen con los parámetros requeridos por la especificación para su aceptación.

Técnica de los 5 Porqués

La aplicación de la metodología de los 5 Porqués ayudará a determinar la relación que existe entre la causa y efecto que genera el problema principal en la calidad del producto, él no considerar hojas de trabajo para espesor, así mismo, como los tiempos de inmersión.

En la figura 28 se observa el análisis de los cinco por qué para identificar la causa raíz del problema.

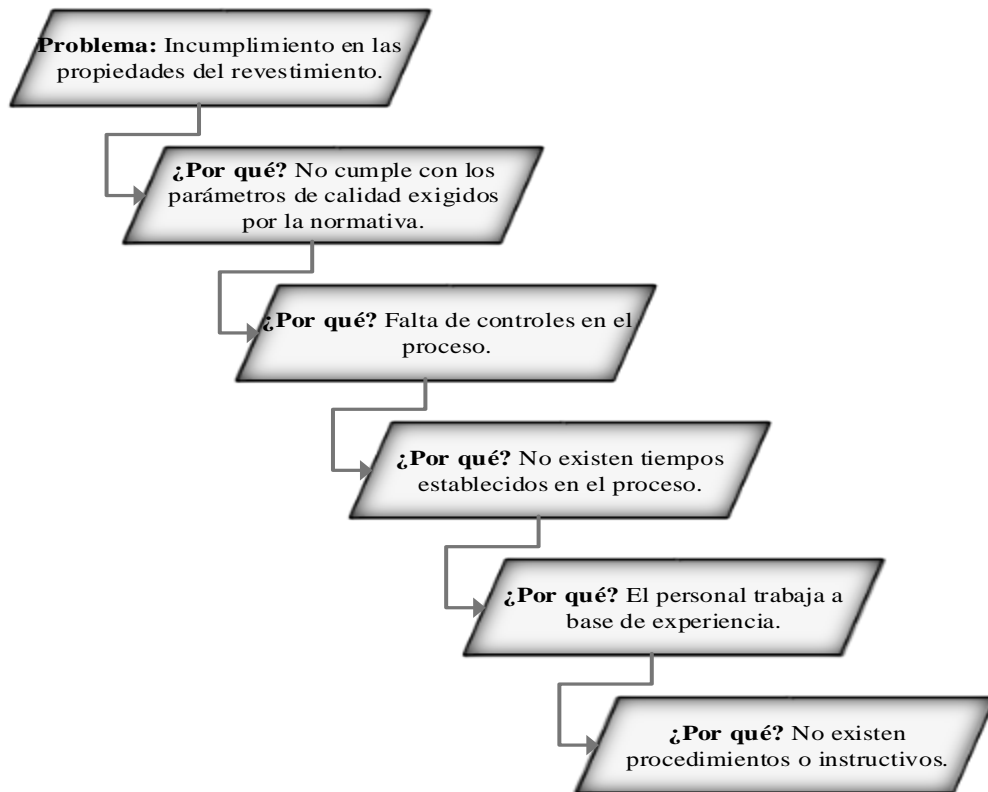


Figura 28. Cinco por qué para identificar la causa raíz del problema

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

De la aplicación del método de los 5 Porqués, se obtiene como resultado que la falta de procedimientos que permita estandarizar y controlar el proceso del galvanizado es la causa principal que incide directamente con la calidad del producto final, y el no cumplimiento de las especificaciones. El método de optimización a desarrollar consiste en realizar un esquema que permita predecir el micraje para un producto en el proceso, cabe señalar que la única variable de predicción para analizar es el tiempo de inmersión en la tina de zinc, por lo tanto, el esquema a utilizar será mediante una regresión lineal, que será explicado en la fase de mejora.

Desarrollo de la fase Mejora

En esta fase se presentarán las propuestas de mejora definidas en la fase de análisis.

Para realizar el esquema que permita predecir el micraje de las piezas según su espesor se realizó la regresión lineal, para lo cual se utilizó las variables de estudio que son micras y tiempos, los cuales fueron obtenidos en la toma de datos. Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\hat{x}_t = b_0 + b_1 t \quad (6)$$

Donde:

- \hat{x}_t = Pronóstico del período t
- a = Intersección de la línea con el eje
- b = Pendiente (positiva o negativa)
- t = Período del tiempo

En la figura 29 se puede observar el resultado de la regresión lineal aplicado para las abrazaderas, cabe señalar que para todos los productos estudiados se aplicó la misma metodología de análisis.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación R	0,661475064
Coefficiente de determinación R ²	0,43754926
R ² ajustado	0,402396089
Error típico	9,3942555
Observaciones	18

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Medio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	1098,467418	1098,467418	12,4469356	0,002793232
Residuos	16	1412,032582	88,2520364		
Total	17	2510,5			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	78,69229705	16,44061336	4,786457496	0,00020182
Variable X 1	0,907649283	0,257268638	3,528021492	0,00279323

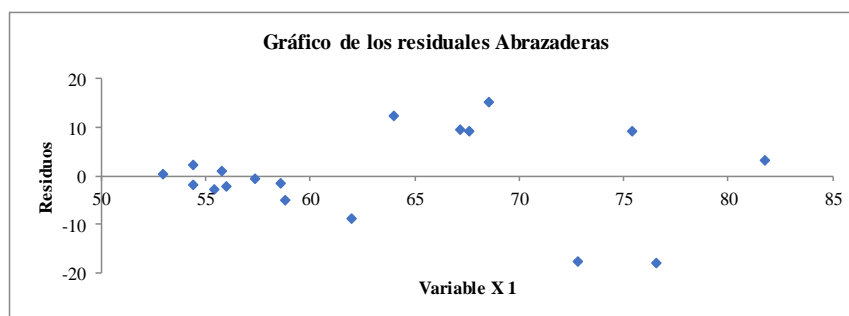


Figura 29. Análisis de regresión Abrazaderas

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

En la Tabla 21 se realiza un resumen de los resultados obtenidos del análisis de regresión aplicado a los productos, donde se analiza el coeficiente de correlación

(R), el coeficiente de determinación (R^2), los parámetros de la ecuación (b_0 y b_1), el estadístico t (correspondiente a la prueba de hipótesis de la pendiente) y el valor F (indica si la ecuación de regresión muestral tiene un porcentaje significativo de la varianza de la variable).

Tabla 21. Resumen del análisis de regresión

Material	Espesor (mm)	R	R^2	b_0	b_1	Valor F	Prob. T	Muestras
Brazos Luminaria	3,2 - 4,8	0,63	0,39	77,922	2,878	51,189	3,78E-10	81
Brazos Tensores	3,2 - 4,8	0,68	0,47	8,715	2,754	71,274	9,25E-13	84
Crucetas	4,8 - 6,4	0,55	0,30	203,847	0,837	13,586	8,67E-04	33
Abrazaderas	3,2 - 4,8	0,66	0,44	78,692	0,908	12,447	2,79E-03	18

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

De la Tabla anterior se utilizó b_0 y b_1 , para aplicar en la ecuación de regresión lineal para obtener la predicción específica de la variable espesor de recubrimiento de zinc (micraje). Para determinar el valor de esta variable de desarrollo intervalos de confianza para cada producto, para así obtener un valor medio del espesor con relación a la especificación que se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Resultados de los intervalos de confianza

Material	Espesor (mm)	Tiempo de inmersión	Tiempo de inmersión (min: seg) (X)	Micras según Norma	Micras Meta Sigma	Límite Inferior	Límite Superior	Confianza
Brazos Luminaria	3,2 - 4,8	265	04:25	60	65	60	69	95%
Brazos Tensores	3,2 - 4,8	215	03:35	60	75	60	89	95%
Crucetas	4,8 - 6,4	281	04:41	85	92	85	98	95%
Abrazaderas	3,2 - 4,8	151	02:31	75	80	75	84	95%


Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

De los datos expuestos en la Tabla anterior, se determina que, en el tiempo de inmersión establecido para cada producto, existe un 95% de confianza de que el

espesor promedio determinado para cada producto se encuentre dentro de los intervalos señalados para cada caso, donde el límite inferior está dado por la especificación ASTM A 123/A 123 M-02.

Con los tiempos de inmersión determinados para cada clase de espesor se procede a desarrollar un plan de mejora que permita controlar el proceso.

	PROCEDIMIENTO		Código: 01
	GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE		Versión: 00
	Emisor: Producción	Vigente desde:	Página:

	Elaborado por:	Aprobado por:
Nombre:		
Cargo:		
Firma:		
Fecha:		

OBJETIVO

Establecer los lineamientos estándar especificados por la normativa ASTM A 123/A 123M-02 para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente de la empresa Fadhelec.

ALCANCE

Aplica desde la recepción hasta la aceptación de los productos galvanizados por inmersión en caliente por parte del inspector de calidad de la empresa Fadhelec.

DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Decapar: Eliminación de corrosión y óxidos de la superficie metálica sin atacar el metal base de acero.

Desengrasar: Eliminación de grasas y aceites de la superficie metálica.

RESPONSABILIDADES

Inspector de Calidad: Elaborar, difundir y actualizar este documento.

Jefe de Producción: Implementar, aprobar y facilitar la realización efectiva de este procedimiento.

Jefes Departamentales: Cumplir los lineamientos establecidos en este procedimiento y transmitir esta información a sus colaboradores.

PROCEDIMIENTO

N°	RESPONSABLE	ACTIVIDAD	DESCRIPCION	ENTRADA	SALIDA
1	Operarios	Recibir Productos	<p>Realizar el recibimiento de los productos con la orden de trabajo y registrar la información solicitada en el registro CC-RG-01</p> <p>En el caso que los productos a galvanizar no tengan la orden de trabajo se debe solicitar autorización al Jefe de producción para continuar con el proceso.</p> <p>El no tener la orden de trabajo no será un justificativo para no llenar los campos solicitados en el registro de recepción de productos.</p>	1. Orden de trabajo.	1. CC-RG-01 Recepción de Productos
2	Operarios	Muestrear productos	Se debe realizar un muestreo de los productos recibidos para verificar que las superficies no presenten agentes contaminantes para el proceso. Se verificará de acuerdo con los parámetros de inspección indicados en el anexo 9.1	1. Anexo 9.1 Parámetros de Inspección Recepción	
3	Inspector de calidad	¿Productos en condiciones óptimas para el proceso?	<p>Si del muestreo se obtiene que los productos están en óptimas condiciones pasar al punto 6.</p> <p>Si los productos no están en óptimas condiciones pasar al punto 4.</p>		
4	Jefe de Producción	¿Autorizar acondicionamiento de piezas?	<p>De acuerdo al informe de no conformidad, el Jefe de producción autorizará o no el acondicionamiento de los productos.</p> <p>Si autoriza pasar al punto 5</p> <p>Si no autoriza almacenar los productos en un lugar destinado para producto no conforme, fin del proceso.</p>		
5	Operarios	Acondicionamiento de piezas	<p>Seleccionar las piezas que en su superficie presenten contaminación de pintura y productos de corrosión y limpiar todos estos residuos hasta que las piezas estén completamente limpias de estos agentes.</p> <p>La remoción de pinturas y productos de corrosión en superficies pequeñas se los realizará usando solventes, con limpieza mecánica y quemado con soplete; para superficies grandes la limpieza será abrasiva con arenado o granallado.</p>		
6	Operarios	Armar racks	<p>Para realizar el armado de rack se debe clasificar los productos por su espesor y diseño.</p> <p>Cada rack se debe armar con productos del mismo espesor y diseño, se colgará las piezas de manera que se asegure que no se caigan en las distintas etapas del proceso, además, tendrán suficiente espacio entre cada pieza para permitir</p>		

			<p>la penetración de las soluciones y el zinc fundido.</p> <p>Se utilizará alambres o trenzados de alambre de distintos calibres que garanticen resistir las condiciones del proceso.</p>		
7	Operarios	Desengrasar	<p>Sumergir completamente las piezas en la tina de desengrase por 10 minutos, la temperatura de tratamiento ácido será de T° Ambiente. Pasado el tiempo establecido se debe levantar y bajar rápidamente el material en el desengrase para ayudar a retirar la grasa.</p>		
8	Operarios	Decapar	<p>Sumergir completamente las piezas en la tina de decapado por 15 minutos. Levantar y bajar rápidamente el material en el decapado por lo menos dos veces esto crea una agitación para evitar zonas de baja concentración ácida.</p> <p>Para la retirada final procurar que todo el ácido salga de las piezas y vuelva a la tina para así reducir el consumo de ácido en la operación, además de evitar la contaminación del agua en el paso siguiente.</p>		
9	Operarios	Enjuague	<p>Sumergir completamente las piezas en la tina de agua por 30 segundos, levantar y bajar rápidamente por lo menos una vez para eliminar los ácidos adheridos al material en las etapas anteriores.</p>		
10	Operarios	Fluxado	<p>Sumergir completamente las piezas en la tina de flux por 10 minutos. Realizar la retirada procurando que todo el flux regrese a la tina.</p>		
11	Operarios	Secado	<p>Para un óptimo secado las piezas deben estar suspendidas para que el aire caliente penetre rápidamente por todas las partes, la temperatura de la plataforma de secado no debe sobrepasar los 100°C, se debe retirar del secado inmediatamente el agua de las piezas de haya evaporado.</p>		
12	Galvanizador	Galvanizar	<p>Antes de la inmersión de las piezas en la tina de zinc, se debe espolvorear el zinc fundido (ceniza), la inmersión debe ser lo más rápido posible y no se galvanizará más de 200 kg por baño, el tiempo que permanecerán en inmersión en la tina de zinc será de acuerdo con el anexo 9.2 Tiempos de inmersión de acuerdo con el espesor del material.</p> <p>La retirada del material del zinc fundido debe ser a una velocidad de lenta < 1m/min, la retirada debe ser continua y sin paralizaciones.</p>	9.2 Tiempos de inmersión de acuerdo con el espesor del material.	
13	Galvanizador	Enfriar	<p>El enfriamiento de las piezas será un baño rápido, se debe sumergir totalmente las piezas en la tina de agua fría por 10 segundos.</p>		
14	Inspector de calidad	Inspeccionar	<p>Descargar el material de los racks, medir el espesor de las piezas de acuerdo con el anexo 9.3 con ayuda de un micrómetro digital, se lo debe realizar seleccionando los especímenes al azar de acuerdo con el anexo 9.2 por cada baño de zinc, en cada pieza a medir se debe hacer cinco mediciones dentro del volumen de cada</p>		1. CC-RG-02 Muestreo de producto

			pieza, registrar cada medición el registro CC-RG-02 Muestreo de producto También se realiza una inspección visual, los artículos que presenten dudas en su acabado se identificarán y se colocarán en un área aislada para análisis de inspección.		
15	Inspector de calidad	¿Cumple con los parámetros de calidad?	Si los productos cumplen con los parámetros de calidad pasar al punto 19. Si los productos no cumplen con los parámetros de calidad pasar al punto 16		
16	Inspector de calidad	Analizar fallas	Los artículos que no cumplieron con los parámetros de calidad deben ser analizados por el inspector de calidad para determinar si la rectificación del recubrimiento es permisible o si se deberá descartar el recubrimiento y re galvanizar de ser necesario. El parámetro principal por analizar será el tamaño del área a reparar, donde el área de superficie permisible para reparación no es mayor que 1/2 del 1% del área de superficie accesible a revestirse en ese artículo.		
17	Inspector de calidad	¿Es permisible la rectificación de fallas?	Si es permisible pasar al punto 18 Si no es permisible pasar al punto 8		
18	Operarios	Reparar	Las reparaciones se realizarán aplicando el método de retoque y reparación utilizando pinturas ricas a base de zinc o spray con zinc (metalizador).		
19	Inspector de calidad	Aceptar productos	Las muestras que cumplan con los parámetros de calidad establecidos garantizarán la aceptación del lote del cual formen parte. Una vez aceptado el lote se procederá a guardarlo en la bodega de producto terminado. Se debe realizar un informe de inspección final anexo 9.3		9.3 Inspección final anexo

NORMATIVAS

El material inadecuado para ser galvanizado se almacenará por separado, el inspector de calidad realizará un informe de no conformidad indicando las causas encontradas, y notificará al Jefe de Producción sobre las novedades encontradas.

En el área de espera previo a las etapas de limpieza el material debe estar claramente identificado por etiquetas, debe estar agrupado nunca apilado encima de otro producto.

El desengrase ácido no requiere de enjuague para pasar al decapado.

El agua utilizada en la etapa de enjuague posterior al decapado debe cambiarse por lo menos unas dos veces a la semana.

Realizar verificación de la concentración de flux una vez cada 24 horas, mantener un registro con de las pruebas realizadas, la concentración de flux debe de estar entre 3.0 a

4.2, además se inspeccionara visualmente la calidad del flux observando su color, si es claro indica que la solución está dentro de especificación, color marrón rojizo fangoso indica presencia de hierro como hidróxido férrico y es alerta de pH muy alto, color verdoso indica pH ácido y la presencia de cantidades en exceso de hierro disuelto en forma de cloruro ferroso, se anotara estas características en observaciones.

Las mediciones que se realicen a cada pieza muestreada deben realizar lo más ampliamente disperso, de manera que represente el espesor general del revestimiento de la pieza.

Los alambres o trenzados de alambres utilizados para colgados de piezas deben ser nuevos para cada proceso, además, de ser apto para el galvanizado.

Se debe controlar que la temperatura de la tina de zinc este en 450°C (± 10 °C rango de operación) para la inmersión de las piezas.

La carga máxima de piezas para la inmersión en la tina de zinc por cada baño será de \leq a 200kg que es la máxima capacidad de la tina de zinc.

El personal de operación debe estar siempre vistiendo de overol, cascos, guantes de seguridad, mascarilla y botas o zapatos punta de acero.

Realizar mantenimiento apropiado por lo menos una vez al mes de todos los equipos y canastas de elevación, y se debe anotar en el registro de mantenimiento de puente grúa. Mantener un cronograma actualizado de mantenimiento de equipos.

Todo equipo de elevación y las canastas deben indicar la carga máxima permitida. El equipo que no cuente con estas marcaciones no se debe utilizar y debe ser retirado del proceso.

DOCUMENTOS RELACIONADOS

CC-RG-01 Recepción de productos

CC-RG-02 Muestreo de productos

CONTROL DE CAMBIOS

Fecha	Cambio	Versión
01/05/2019	Documento nuevo	00

ANEXOS

Parámetros de Inspección Recepción

Tiempos de inmersión de acuerdo con el espesor del material y diseño.

Informe de Inspección final

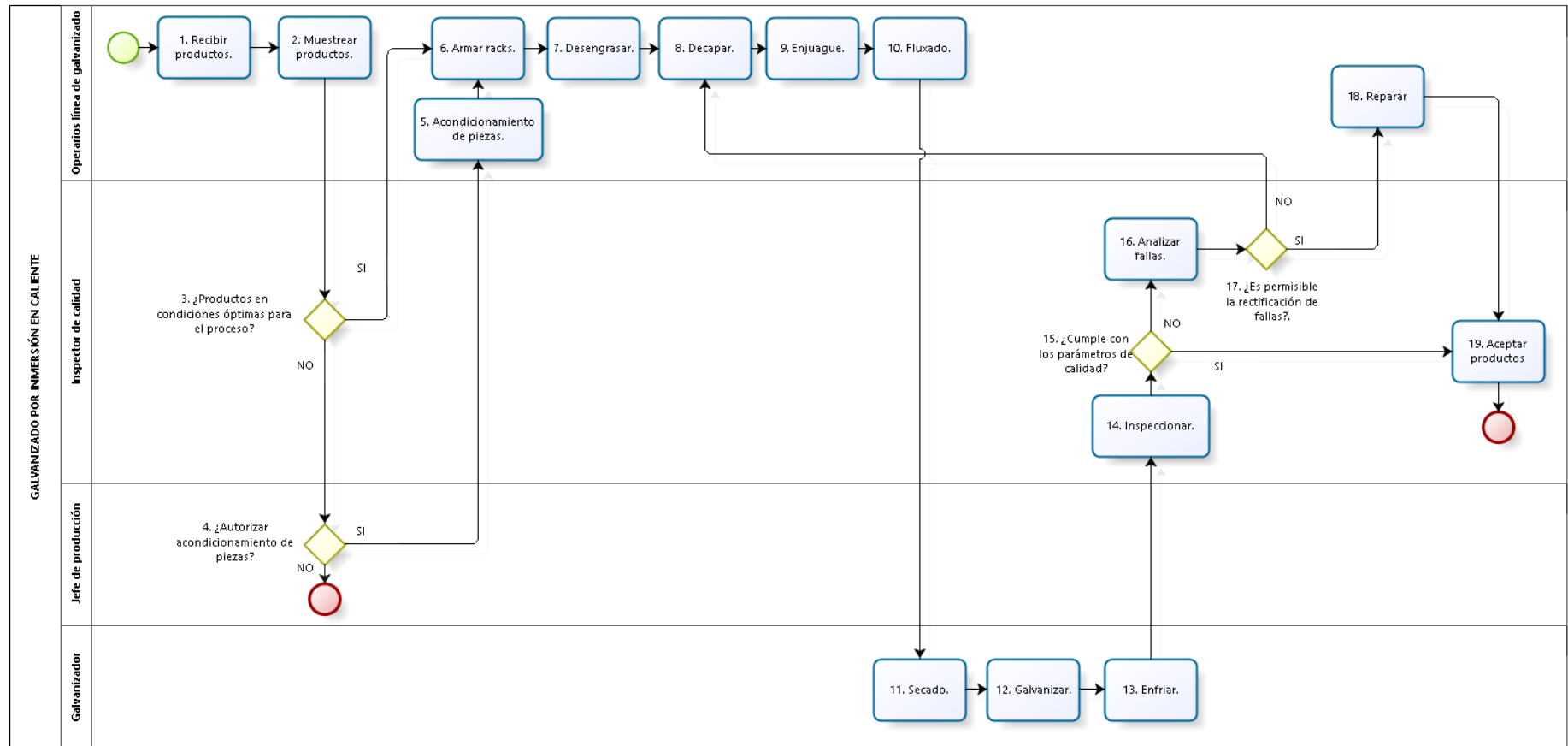


Figura 30. Diagrama del plan de mejora del proceso de galvanizado

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

Los criterios utilizados para las etapas previas al galvanizado (desengrase, decapado y fluxado), se han establecido bajo las recomendaciones dadas por el proveedor de los insumos. Es importante aclarar que la ecuación diseñada para determinar el tiempo de inmersión de los productos estudiados solo servirá cuando las demás variables analizadas estén controladas, como se indica en el plan de mejora que es acorde con las solicitudes de la especificación ASTM A 123/A 123M-02.

Desarrollo de la fase Controlar

Luego de haber realizado el plan de mejoras que permitirá alcanzar los objetivos establecidos, ahora en esta fase se va a establecer un sistema de control que permita mantener y controlar las mejoras propuestas.

Para vigilar el proceso se realizará control del espesor del revestimiento aplicando el siguiente método:

Método de mediciones magnéticas de espesor, el cual establece que se debe realizar mínimo cinco mediciones o más, en puntos ampliamente dispersos de la muestra, de tal manera que represente toda el área de la pieza, el promedio de las cinco o más mediciones por cada pieza será el espesor de revestimiento de dicho elemento, el muestreo se realizará de acuerdo con los requisitos de la especificación ASTM A 123/A 123M-02 que ya se explicó anteriormente.

Con las mediciones obtenidas de los productos estudiados se debe dar seguimiento mensualmente al desempeño del proceso utilizando como punto de partida el límite inferior establecido por norma y el límite superior calculado, para lo cual se utilizará el indicador Cpk que a medida que el proceso se estabilice deberán tener un valor mayor a 1.25, el cual indica que el proceso es capaz y cumple con la especificación.

A continuación, en la Tabla 23 se indica el formato del registro a utilizar para realizar el control del micraje en los productos muestreados.

Resultados esperados

La propuesta que se plantea está alineada al análisis realizado al proceso actual, en el cual se observaron 277 defectos en un tamaño de muestra de 216 piezas, lo que equivale a 256 400 defectos por millón de oportunidades, en consecuencia la empresa tiene un rendimiento del 74.36 % con un nivel sigma de 2.15, por lo tanto, como resultado de mejora se espera reducir los defectos en un 99.99% y así obtener un 3.4 defectos por millón de oportunidades, lo que significaría alcanzar la meta Seis Sigma.

Con la reducción de los defectos y productos no conformes se está cumpliendo con la política de calidad que tiene la empresa, en la cual establece el compromiso a mejorar continuamente los procesos, para así satisfacer las necesidades de los clientes, además de garantizar que los productos están bajo estándares de calidad.

La presente propuesta metodología que incluyen las etapas: definición, medición y análisis, han sido desarrolladas, quedando las etapas de implementación de mejora y control a manera de recomendación, debido a que la puesta en marcha queda a decisión de la empresa.

Tabla 24. Cronograma de actividades para la aplicación de la propuesta

TIEMPO			Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7			
Id	ACTIVIDADES	Duración	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	PROYECTO SEIS SIGMA	176 días																												
2	DEFINIR	80 días																												
3	Diagnostico de la situación actual del proceso	63 días																												
4	Análisis de productos para estudio	7 días																												
5	Desarrollo de diagramas de proceso	4 días																												
6	Desarrollo del PEPSU	3 días																												
7	Encontrar las necesidades del cliente	5 días																												
8	Realizar el cuadro del proyecto (Proyect Chárter)	3 días																												
9	MEDIR	55 días																												
10	Cálculo de la muestra	2 días																												
11	Levantamiento de datos	30 días																												
12	Determinación del DPMO	2 días																												
13	Determinación del Yield del proceso	2 días																												
14	Determinación del nivel sigma del proceso	2 días																												
15	Análisis de distribución normal de los datos	2 días																												
16	Determinación de la capacidad del proceso	15 días																												
17	ANALIZAR	13 días																												
18	Determinación de la causa raíz del problema	5 días																												
19	Determinación de las variables del proceso	5 días																												
20	Determinación de la relación que existe entre la causa y efecto	3 días																												
21	MEJORAR	19 días																												
22	Análisis de correlación de las variables	2 días																												
23	Análisis de regresión lineal	2 días																												
24	Desarrollo del plan de mejora	15 días																												
25	CONTROLAR	5 días																												
26	Determinación del método para controlar el proceso	3 días																												
27	Determinación del registro para muestreo de productos	2 días																												

Fuente: Propia

Elaborado por: El Investigador

Análisis de costos

El perfil que se necesita para un inspector de calidad es el siguiente:

Perfil:

- Formación técnica mecánica/industrial
- Observadora
- Con enfoque lógico y metódico en el trabajo
- Con buenas aptitudes para el cálculo aritmético
- Con conocimientos en informática
- Con capacidad para las relaciones interpersonales

Competencias:

- Creatividad técnica
- Trabajo en equipo
- Capacidad de planificación y organización

En la Tabla 25 se muestra el cálculo mensual para un inspector de calidad.

Tabla 25. Cálculo del SBU

CÁLCULO DEL SALARIO	
Sueldo Operario	\$ 394,00
Fondos de reserva	\$ 32,82
IESS empleador	\$ 43,93
Décimo tercero	\$ 32,83
Décimo cuarto	\$ 32,83
Vacaciones	\$ 16,42
Desahucio	\$ 8,21
Provisión despido	\$ 32,83
Costo Mensual	\$ 593,81

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

Se realiza la contratación del inspector de calidad por seis meses debido que es la planificación propuesta para el plan de mejora, luego de cumplir el tiempo

establecido en el cronograma de actividades se realizará un análisis del proceso para toma de decisiones.

En la Tabla 26 se presenta el costo de la implementación del plan de mejora propuesto.

Tabla 26. Costo del Plan de Mejora

COSTO DEL PLAN DE MEJORA			
Descripción	P. Unitario	Cantidad	P. Total
Estandarización del procedimiento	\$ 50,00	1	\$ 50,00
Impresiones	\$ 18,90	1	\$ 18,90
Capacitación - Trabajadores	\$ 117,26	1	\$ 117,26
Capacitador	\$ 300,00	1	\$ 300,00
Inspector de calidad	\$ 3.563,26	1	\$ 3.563,26
Subtotal			\$ 4.049,42
Imprevistos 10 %			\$ 404,94
COSTO TOTAL			\$ 4.454,36

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

En la Tabla 27 se presenta el cronograma valorado de componentes y actividades relacionado con el plan de mejora propuesto.

Tabla 27. Cronograma valorado de componentes y actividades

TIEMPO			Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
Id	ACTIVIDADES	Duración	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Estandarización del procedimiento	1 día																								
2	Impresiones	6 meses																								
3	Capacitación - Trabajadores	10 días																								
4	Capacitador	10 días																								
5	Inspector de calidad	6 meses																								

Fuente: Propia

Elaborado por: El investigador

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Luego de observar el proceso del galvanizado por inmersión en caliente y de la aplicación de un check list basado en la especificación ASTM A 123/A 123M-02 se puede observar que los principales problemas son en las propiedades del revestimiento, el método utilizado para el muestreo de productos y los métodos de control, debido a que el personal carece de conocimientos técnicos, ya que desarrollan sus actividades a base de experiencia.

Por medio del análisis de la metodología Seis Sigmas y aplicando sus herramientas se concluye que el proceso de galvanizado para los cuatro artículos estudiados tiene un nivel sigma de 2.15, en función del desempeño del proceso que es de 74.35%, y así como los valores del Cpk obtenidos son menores que 1.25, lo que indica que el proceso actual no es capaz, debido a que no cumple con la especificación.

Una vez analizado el proceso actual de la empresa se quiere incrementar el desempeño para llegar a obtener un 95%, lo que permitirá disminuir los defectos en un 83%, para lo cual se infiere que la alternativa para la mejora es realizar un procedimiento que indique como controlar el proceso, además, que contenga los requerimientos de la especificación y que atienda las necesidades de los clientes en cuanto a calidad de producto.

Recomendaciones:

Se recomienda a la empresa crear un plan de capacitación anual que este dirigido a atender las necesidades del proceso, además, crear un plan de inducción para los puestos de trabajo, donde se enseñe las buenas prácticas, procedimientos a desarrollar y normas a cumplir.

Para poder incrementar el nivel sigma del proceso se recomienda dar un seguimiento mensual a la calidad del producto utilizando indicadores de mejora del proceso mediante hojas de control para la recolección de datos, y cumplir los procedimientos establecidos para la disminuir los defectos.

Se recomienda la implementación del procedimiento de galvanizado por inmersión en caliente propuesta en el plan de mejora, así como establecer un responsable de control de calidad capacitado que garantice el cumplimiento de los puntos de control establecidos dentro del procedimiento para poder alcanzar la meta propuesta

Bibliografía

- Asociación Latinoamericana de Zinc. (2012). Galvanización, 5000(extension 1704), 5000.
- Barahona Castillo, L., & Navarro Infante, J. (2013). *Mejora Del Proceso De Galvanizado En Una Empresa Manufacturera De Alambres De Acero Aplicando La Metodología Lean Six Sigma*.
- Cerrajerías Martínez e Hijos. (n.d.).
- Corporación Financiera Nacional. (2017). FICHA SECTORIAL: INDUSTRIAS BÁSICAS DE HIERRO Y ACERO, 10. Retrieved from <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/10/FS-Industrias-Básicas-de-Hierro-y-Acero-octubre-2017.pdf>
- Cuartero, J. (2018). Metodologías Ágiles: el nuevo paradigma empresarial que llega para quedarse | AméricaEconomía | AméricaEconomía. 28/03/2018, 1. Retrieved from <https://www.americaeconomia.com/analisis-opinion/metodologias-agiles-el-nuevo-paradigma-empresarial-que-llega-para-quedarse>
- Echevarría, R. (2016). Aplicación de la metodología Six Sigma para la mejora en la uniformidad del producto final en una fábrica de neumáticos. Retrieved from http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/cybertesis/5946/1/Echevarria_qr.pdf
- Fadhelec CIA LTDA. (2018). Retrieved June 24, 2018, from <http://www.fadhelec.com.ec/index.php/about>
- FEDIMETAL. (2017). Directorio de Socios por Sector | Fedimetal. Retrieved June 24, 2018, from <http://fedimetal.com.ec/federacion-ecuatoriana-de-industrias-del-metal/directorio-de-socios-por-sector/>
- González, J. (2017). Ley de Pareto: 80/20, 1–25. Retrieved from www.jggomez.eu
- González, M. (2015). Autor: Miguel González Bautista Tutor: Marcos Calle Suárez.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2013a). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Tercera ed).
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2013b). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Tercera ed).
- Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad Total y Productividad* (Tercera).
- Hidalgo, M. (2013). Rodrigo saltos mosquera, mba.
- Ortiz, R., & Galleguillos, L. (2011). Methodology and Information Structure Analysis. *Mejoramiento Del Servicio De Galvanizado Mediante Seis Sigma Y El Analisis De La Informacion*, 81–102.
- Pérez Ortiz, H. (2016). El impacto de Lean Six Sigma en organizaciones

latinoamericanas y sus factores críticos de éxito, 185. Retrieved from [http://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/3873/Tesis Humberto Pérez Ortiz.pdf?sequence=2](http://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/3873/Tesis_Humberto_Pérez_Ortiz.pdf?sequence=2)

Rodrigo, M. C. A. (2013). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. *Tesis*, 1–100. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>

Statista. (2018). • Zinc: principales países productores 2017 | Estadística. Retrieved June 24, 2018, from <https://es.statista.com/estadisticas/635364/paises-lideres-en-la-produccion-de-zinc-a-nivel-mundial/>

Vela Cesar. (2015). Galvanizado en Latinoamérica Blog Novacero. Retrieved November 17, 2017, from <http://www.novacero.com/blog/?p=379>

Zuluaga, P. (2016). Aplicación De La Metodología Six Sigma Para Solucionar Problemas De Calidad En Una Empresa Metalmeccanica, 1–63.

ANEXOS

Anexo 1 Datos recolectados de micrajes

Producto	Tiempo de inmersión	Micraje				
		1	2	3	4	5
ABRAZADERA	2:29	53	61	71	82	71
ABRAZADERA	2:29	52	79	64	69	56
ABRAZADERA	2:29	62	59	60	74	81
ABRAZADERA	2:06	66	50	48	53	60
ABRAZADERA	2:06	70	72	65	55	48
ABRAZADERA	2:06	50	48	49	70	55
ABRAZADERA	2:10	50	48	49	70	55
ABRAZADERA	2:10	53	60	65	59	50
ABRAZADERA	2:10	50	55	65	62	61
ABRAZADERA	2:07	45	50	60	62	63
ABRAZADERA	2:07	48	53	59	63	71
ABRAZADERA	2:07	45	59	63	48	50
ABRAZADERA	2:07	74	82	72	69	67
ABRAZADERA	2:10	82	67	82	88	64
ABRAZADERA	2:10	65	55	47	60	52
ABRAZADERA	2:36	80	76	85	90	78
ABRAZADERA	2:36	68	70	65	65	75
ABRAZADERA	2:36	75	68	78	80	76
BRAZO LUMINARIA	3:42	52	66	60	70	69
BRAZO LUMINARIA	3:42	40	69	52	50	78
BRAZO LUMINARIA	3:42	49	49	5	48	55
BRAZO LUMINARIA	3:59	74	51	54	62	48
BRAZO LUMINARIA	3:59	56	73	64	56	49
BRAZO LUMINARIA	3:59	59	55	68	39	48
BRAZO LUMINARIA	4:35	60	56	54	53	50
BRAZO LUMINARIA	4:35	57	62	70	56	68
BRAZO LUMINARIA	4:35	76	54	52	71	61
BRAZO LUMINARIA	3:56	74	80	7	73	51
BRAZO LUMINARIA	3:56	61	55	53	49	65

BRAZO LUMINARIA	3:56	62	53	68	54	48
BRAZO LUMINARIA	4:10	67	70	72	48	52
BRAZO LUMINARIA	4:10	57	60	63	55	61
BRAZO LUMINARIA	4:10	55	61	62	58	49
BRAZO LUMINARIA	4:40	71	71	53	57	51
BRAZO LUMINARIA	4:40	62	60	57	76	70
BRAZO LUMINARIA	4:40	72	74	68	68	60
BRAZO LUMINARIA	4:07	49	48	53	50	48
BRAZO LUMINARIA	4:07	78	52	50	70	40
BRAZO LUMINARIA	4:07	53	53	70	62	59
BRAZO LUMINARIA	4:48	55	49	66	71	59
BRAZO LUMINARIA	4:48	50	72	71	88	76
BRAZO LUMINARIA	4:48	73	60	6	56	72
BRAZO LUMINARIA	4:03	59	38	71	53	53
BRAZO LUMINARIA	4:03	38	73	50	52	78
BRAZO LUMINARIA	4:03	50	62	53	49	49
BRAZO LUMINARIA	4:27	60	70	50	72	72
BRAZO LUMINARIA	4:27	70	50	59	60	62
BRAZO LUMINARIA	4:27	51	68	62	71	71
BRAZO LUMINARIA	4:18	76	49	63	60	55
BRAZO LUMINARIA	4:18	67	58	72	60	55
BRAZO LUMINARIA	4:18	55	50	58	65	69
BRAZO LUMINARIA	4:06	52	58	68	70	67
BRAZO LUMINARIA	4:06	48	55	55	53	62
BRAZO LUMINARIA	4:06	65	48	50	55	61
BRAZO LUMINARIA	4:57	51	73	70	80	74
BRAZO LUMINARIA	4:57	61	71	52	54	76
BRAZO LUMINARIA	4:57	68	56	70	62	57
BRAZO LUMINARIA	3:51	49	53	54	56	60
BRAZO LUMINARIA	3:51	48	39	68	55	59
BRAZO LUMINARIA	3:51	49	56	64	73	56
BRAZO LUMINARIA	3:55	48	62	54	51	74

BRAZO LUMINARIA	3:55	53	55	55	48	56
BRAZO LUMINARIA	3:55	50	63	47	59	61
BRAZO LUMINARIA	3:14	45	48	55	52	47
BRAZO LUMINARIA	3:14	48	45	55	53	58
BRAZO LUMINARIA	3:14	50	63	45	60	56
BRAZO LUMINARIA	3:30	45	48	55	52	47
BRAZO LUMINARIA	3:30	53	55	47	56	48
BRAZO LUMINARIA	3:30	65	55	53	55	52
BRAZO LUMINARIA	4:11	51	38	55	60	42
BRAZO LUMINARIA	4:11	45	65	53	55	62
BRAZO LUMINARIA	4:11	58	65	74	69	63
BRAZO LUMINARIA	3:49	50	43	36	45	55
BRAZO LUMINARIA	3:49	65	70	52	49	54
BRAZO LUMINARIA	3:49	60	63	65	58	65
BRAZO LUMINARIA	3:10	46	40	49	52	43
BRAZO LUMINARIA	3:10	44	49	55	63	52
BRAZO LUMINARIA	3:10	50	59	53	55	62
BRAZO LUMINARIA	3:59	47	55	59	62	65
BRAZO LUMINARIA	3:59	49	58	55	65	61
BRAZO LUMINARIA	3:59	59	55	62	60	52
BRAZO LUMINARIA	3:55	55	50	58	65	52
BRAZO LUMINARIA	3:55	47	50	47	55	61
BRAZO LUMINARIA	3:55	55	65	58	65	53
BRAZO LUMINARIA	3:49	48	50	55	50	58
BRAZO LUMINARIA	3:49	65	55	53	55	52
BRAZO LUMINARIA	3:49	55	59	57	52	49
BRAZO LUMINARIA	3:52	65	55	58	61	55
BRAZO LUMINARIA	3:52	53	55	55	48	56
BRAZO LUMINARIA	3:52	45	48	55	52	47
BRAZO LUMINARIA	3:55	50	63	45	60	56
BRAZO LUMINARIA	3:55	53	55	47	56	48
BRAZO LUMINARIA	3:55	65	58	60	53	48

BRAZO LUMINARIA	3:47	47	50	47	55	61
BRAZO LUMINARIA	3:47	43	50	55	47	65
BRAZO LUMINARIA	3:47	55	59	57	52	49
BRAZO LUMINARIA	3:56	45	48	55	52	47
BRAZO LUMINARIA	3:56	65	70	52	49	54
BRAZO LUMINARIA	3:56	47	55	59	62	65
TENSORES	2:29	90	82	71	82	71
TENSORES	2:29	85	79	64	69	70
TENSORES	2:29	62	59	60	69	70
TENSORES	4:17	72	70	129	90	113
TENSORES	4:17	90	77	62	93	95
TENSORES	4:17	107	80	79	70	76
TENSORES	4:04	65	76	82	98	74
TENSORES	4:04	75	78	91	68	111
TENSORES	4:04	97	116	97	112	74
TENSORES	3:30	84	67	72	69	82
TENSORES	3:30	77	64	86	88	68
TENSORES	3:30	65	76	82	98	74
TENSORES	4:15	84	96	62	89	91
TENSORES	4:15	101	91	97	93	62
TENSORES	4:15	65	98	76	75	65
TENSORES	4:27	67	63	76	77	84
TENSORES	4:27	84	96	62	89	91
TENSORES	4:27	104	106	78	106	117
TENSORES	4:48	66	101	85	95	123
TENSORES	4:48	77	86	88	68	116
TENSORES	4:48	97	107	99	118	74
TENSORES	2:29	61	59	71	82	71
TENSORES	2:29	85	79	64	69	59
TENSORES	2:29	62	59	60	69	52
TENSORES	4:17	72	70	129	90	113
TENSORES	4:17	90	89	106	93	95

TENSORES	4:17	65	76	79	70	113
TENSORES	4:04	103	76	82	98	74
TENSORES	4:04	75	78	91	68	104
TENSORES	4:04	97	102	97	118	74
TENSORES	3:30	84	67	72	69	82
TENSORES	3:30	96	64	86	88	68
TENSORES	3:30	65	76	82	98	74
TENSORES	4:15	84	79	62	89	91
TENSORES	4:15	61	91	59	93	62
TENSORES	4:15	65	98	76	75	50
TENSORES	4:27	67	63	76	77	84
TENSORES	4:27	99	96	62	89	91
TENSORES	4:27	82	74	78	106	117
TENSORES	4:48	66	101	85	95	123
TENSORES	4:48	77	86	88	68	116
TENSORES	4:48	97	72	97	59	74
TENSORES	2:29	65	82	71	82	71
TENSORES	2:29	85	79	64	69	52
TENSORES	2:29	62	59	60	69	70
TENSORES	4:17	72	70	83	90	74
TENSORES	4:17	90	77	62	93	95
TENSORES	4:17	107	80	79	70	76
TENSORES	4:04	97	116	97	118	74
TENSORES	4:04	75	78	91	68	111
TENSORES	4:04	97	99	97	89	74
TENSORES	3:30	84	67	72	69	82
TENSORES	3:30	77	64	86	88	68
TENSORES	3:30	65	76	82	53	74
TENSORES	4:15	84	50	52	89	91
TENSORES	4:15	85	91	97	93	62
TENSORES	4:15	65	98	76	75	65
TENSORES	4:27	67	63	76	77	84

TENSORES	4:27	84	96	62	89	91
TENSORES	4:27	104	106	78	63	117
TENSORES	4:48	66	101	85	95	123
TENSORES	4:48	77	86	88	68	116
TENSORES	4:48	97	95	97	118	74
TENSORES	2:29	90	82	56	82	71
TENSORES	2:29	85	79	64	69	51
TENSORES	2:29	62	59	60	69	59
TENSORES	4:17	72	70	129	90	113
TENSORES	4:17	90	77	62	93	95
TENSORES	4:17	107	80	79	70	76
TENSORES	4:04	65	116	82	98	115
TENSORES	4:04	108	78	91	68	110
TENSORES	4:04	97	116	97	106	74
TENSORES	3:30	84	67	72	69	78
TENSORES	3:30	56	64	86	86	68
TENSORES	3:30	65	76	82	81	74
TENSORES	4:15	84	96	61	89	91
TENSORES	4:15	59	91	97	93	60
TENSORES	4:15	99	98	76	75	98
TENSORES	4:27	97	113	97	118	74
TENSORES	4:27	84	96	101	89	91
TENSORES	4:27	104	106	108	106	117
TENSORES	4:48	93	101	94	95	123
TENSORES	4:48	77	86	88	98	116
TENSORES	4:48	97	116	100	118	95
CRUCETAS	4:49	79	80	75	83	88
CRUCETAS	4:49	98	85	100	95	96
CRUCETAS	4:49	96	100	98	88	97
CRUCETAS	4:22	80	70	75	87	81
CRUCETAS	4:22	87	63	68	85	98
CRUCETAS	4:22	88	90	92	70	85

CRUCETAS	4:33	80	75	75	87	81
CRUCETAS	4:33	100	105	83	94	95
CRUCETAS	4:33	80	85	88	65	76
CRUCETAS	4:46	98	85	100	119	96
CRUCETAS	4:46	88	85	91	100	93
CRUCETAS	4:46	65	70	85	96	100
CRUCETAS	4:42	86	93	94	67	100
CRUCETAS	4:42	89	99	78	89	115
CRUCETAS	4:42	78	89	79	75	99
CRUCETAS	4:52	79	80	75	83	88
CRUCETAS	4:52	98	85	100	119	96
CRUCETAS	4:52	96	100	98	88	97
CRUCETAS	4:27	88	90	92	70	85
CRUCETAS	4:27	90	77	62	93	95
CRUCETAS	4:27	65	70	85	96	100
CRUCETAS	4:25	100	76	78	65	65
CRUCETAS	4:25	86	93	94	67	100
CRUCETAS	4:25	87	63	68	85	98
CRUCETAS	4:42	89	99	78	89	115
CRUCETAS	4:42	98	87	74	88	93
CRUCETAS	4:42	78	89	79	75	99
CRUCETAS	4:32	87	95	80	89	78
CRUCETAS	4:32	69	84	75	81	84
CRUCETAS	4:32	91	93	83	94	95
CRUCETAS	4:30	101	98	88	82	73
CRUCETAS	4:30	67	78	84	100	76
CRUCETAS	4:30	99	95	91	85	65

Anexo 2 Norma ASTM A 123/A 123M-02

ASTM
International

Designación: A 123/A 123M – 02

ESPECIFICACIONES DE NORMA PARA REVESTIMIENTOS DE ZINC (GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE) EN PRODUCTOS DE FIERRO Y ACERO¹

Esta norma es emitida bajo la designación fija A 123/A 123M; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última re-aprobación. Una épsilon (ε) en superíndice indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

Esta especificación ha sido aprobada para su uso por los organismos del Departamento de Defensa.

1. Alcance

- 1.1 Esta especificación cubre los requisitos para revestimientos de zinc (galvanización) mediante el proceso de inmersión en caliente en productos de fierro y acero hechos de secciones laminadas y forjadas, piezas fundidas, placas, barras y flejes.
- 1.2 Esta especificación cubre tanto productos fabricados como no fabricados, por ejemplo, productos de acero ensamblados, fabricaciones estructurales de acero, tubos grandes ya doblados o soldados antes del galvanizado, y trabajos en alambre fabricados con alambre de acero no recubierto. Esta especificación también cubre piezas forjadas en acero y piezas fundidas en fierro incorporadas a piezas fabricadas antes del galvanizado o que son demasiado grandes para ser centrifugadas (o de cualquier modo manipuladas para eliminar el exceso de metal del baño de galvanizado).

Nota 1. Esta especificación cubre aquellos productos previamente mencionados en las Especificaciones A 123-78 y A 386-78.

- 1.3 Esta especificación no se aplica al alambre, cañerías, tubos ni láminas de acero galvanizados en líneas especializadas o continuas ni al acero de menos de calibre 22 (0,0299 pulgadas) [0,76 m] de espesor.
- 1.4 La galvanización de artículos de ferretería que deban ser centrifugados o de cualquier manera manipulados para eliminar el

¹ Esta especificación se hace bajo la jurisdicción del Comité A.S.T.M A05 sobre Productos de Acero y Fierro Recubiertos Metálicos y es responsabilidad directa del Subcomité A05.13 sobre Especificaciones de Perfiles Estructurales y de Ferretería.

Edición actual aprobada el 10 de octubre de 2002. Publicada en diciembre de 2002. Originalmente publicada como A 123 - 28T. Última edición anterior A 123 - 01a.^ε

exceso de zinc (tales como pernos y sujetadores similares con hilo, piezas fundidas y artículos laminados, prensados y forjados) será de acuerdo con la Especificación A 153/A 153M.

- 1.5 Los ensambles fabricados de barras de acero de refuerzo están cubiertos por la presente especificación. El galvanizado de barras separadas de acero de refuerzo será de acuerdo con la Especificación A 767/A 767M.
- 1.6 Esta especificación es aplicable a los pedidos ya sea en unidades de pulgada-libra (como A 123) o unidades SI (como A 123M). Las unidades pulgada-libra y las unidades SI no son necesariamente equivalentes exactas. Dentro del texto de esta especificación y donde corresponda, las unidades SI se muestran en paréntesis. Cada sistema se usará independientemente del otro sin combinar valores de ninguna forma. En el caso de pedidos en unidades SI, todas las pruebas e inspecciones se harán usando el equivalente métrico del método de prueba o inspección según corresponda. En el caso de pedidos en unidades SI, ellas serán determinadas al galvanizador al momento de colocar el pedido.

2. Documentos de Referencia

2.1 Normas ASTM:

- Especificación A 47/A 47M para Piezas Fundidas en Fierro Maleable²
- Método de Control A 90/A 90M para el Peso [Masa] de Revestimientos en Artículos de Fierro y Acero con Revestimientos de Zinc o Aleaciones de Zinc³.
- Práctica A 143 para Resguardar contra Quebramiento de Productos Estructurales de Acero Galvanizados por Inmersión en Caliente y Procedimiento para Detectar Quebramiento³.
- Especificación A 153/A 153M para Revestimientos de Zinc (por inmersión en caliente) en artículos de ferretería de Fierro y Acero³.
- Práctica A 384 para Resguardar contra Combaduras y Distorsión durante la Galvanización por Inmersión en caliente de Ensamblajes de Acero³.
- Práctica A 385 para Proporcionar Revestimientos (por inmersión en caliente) de Zinc de Alta Calidad³.
- Especificación A 767/A 767M para Barras de Acero Galvanizado Revestidas de Zinc para Refuerzos de Concreto⁴

² Anuario de Normas ASTM, Vol. 01.02.

³ Anuario de Normas ASTM, Vol. 01.06.

⁴ Anuario de Normas ASTM, Vol. 01.04.

- Práctica A 780 para Reparación de Áreas Dañadas y no Recubiertas de Revestimientos Galvanizados por Inmersión en Caliente³.
- Terminología A 902 Relacionada con Productos de Aceros con Revestimientos Metálicos³.
- Especificación B 6 para Zinc⁵.
- Método de Control B 487 para Medición del Espesor del Revestimiento de Metal y Óxido mediante Examen Microscópico de una Sección Transversal⁶.
- Método de Prueba B 602 para Muestreo de Atributos Revestimientos Metálicos e Inorgánicos⁵.
- Práctica E 376 para Medir el Espesor del Revestimiento mediante Métodos de Control de Campo Magnético o Corriente Parásita (Electromagnética)⁷

3. Terminología (Véase la Figura 1)

3.1 Definiciones:

3.1.1 Los siguientes términos y definiciones son específicos para esta especificación. La terminología A 902 contiene otros términos y definiciones relacionadas con productos de acero con revestimiento metálico.

3.2 Definiciones de Términos Específicos para esta Norma:

3.2.1 *espesor de revestimiento promedio, sustantivo* – el promedio de tres espesores de revestimiento de la muestra.

3.2.2 *Negro, adj.* – denota la condición de no galvanizado o revestido de otra forma. Para propósitos de esta especificación, la palabra “negro” no se refiere al color o condición de la superficie ni al depósito o contaminación de la superficie.

3.2.3 *Clase [clasificación] de espesor de revestimiento, sustantivo* – valor numérico de la Tabla 1 en la intersección de una categoría de material y un rango de espesor.

3.2.4 *Inclusiones de escoria bruta, sustantivo* – intermetálicos de hierro y zinc presentes en un revestimiento galvanizado en forma distinta a los granos finamente dispersos.

3.2.4.1 *Discusión* – Estas inclusiones crearían una mancha de acero expuesto si se eliminara del revestimiento. Estas inclusiones son superficies levantadas y son fácilmente eliminadas mediante el contacto con correas o cadenas elevadoras, herramientas, aparatos fijos u otras piezas galvanizadas.

⁵ Anuario de Normas ASTM, Vol. 02.04

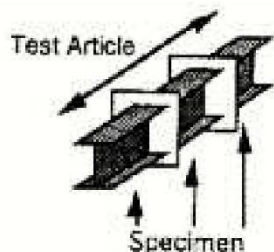
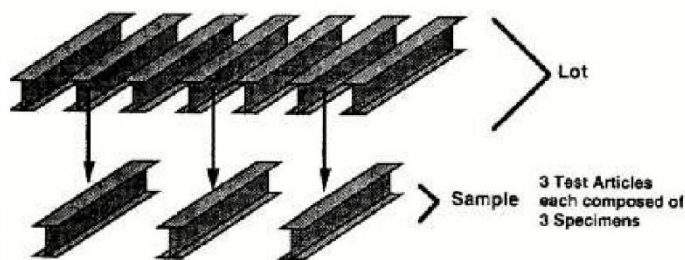
⁶ Anuario de Normas ASTM, Vol.02.05

⁷ Anuario de Normas ASTM, Vol. 03.03

- 3.2.5 *Categoría de material, sustantivo* – clase o tipo general de material o proceso de fabricación, o ambos, que nominalmente describe una unidad de producto, o del cual se hace una unidad de producto. Por ejemplo, parrilla de barra pertenece a la categoría “flejes” (tiras), baranda pertenece a la categoría “cañería”, etc.
- 3.2.6 *Artículo multiespécimen, sustantivo* – unidad de producto cuya área superficial es mayor que 160 pulgadas² (100 000 mm²). Para los propósitos de control de espesor, los artículos cuya área de superficie es mayor que 160 pulgadas² se subdividen en tres secciones locales continuas, nominalmente iguales en área de superficie, cada una de las cuales constituye una muestra. En el caso de cualquier sección local que contenga más de una categoría de material o margen de espesor del acero como se detalla en la Tabla 1, esa sección tendrá más de una muestra (véase la Figura 1).
- 3.2.7 *Muestra, sustantivo* – conjunto de unidades individuales de producto de un solo lote seleccionadas de conformidad con la Sección 7 con el propósito de representar el lote para su aceptación. Si se toma una muestra como representante del lote para su aceptación, la muestra será tomada del lote al azar sin considerar la calidad percibida o el aspecto de cualquier unidad individual en el lote que se va a muestrear. La muestra consta de uno o más artículos de control.
- 3.2.8 *Artículo de un solo espécimen, sustantivo* – unidad de producto cuya área de superficie es igual o menor que 160 pulgadas² [100 000 mm²] o que se centrifuga o de un modo similar es manipulado en el proceso de galvanización para eliminar el exceso de metal del baño de galvanizado (zinc libre). Para propósitos de control de espesor, toda el área superficial de cada unidad de producto constituye una muestra. En el caso de cualquier artículo que contenga más de una categoría de material o margen de espesor de acero según se detalla en la Tabla 1, ese artículo contendrá más de una sola muestra (véase la Figura 1).
- 3.2.9 *Espécimen, sustantivo* – superficie de un artículo de control individual o parte de un artículo de control, sobre la cual se van a realizar mediciones de espesor, que es miembro de un lote o miembro de una muestra que representa a ese lote. Para mediciones magnéticas de espesor, el espécimen excluye cualquier área de la superficie que sea sometida a procesos (tales como cortadura con llama de gas, labrado, enrosque, etc.) que se pueda esperar que den como resultado condiciones de superficie no representativas de la condición general de la superficie del artículo de control, o que es descalificado por el método de medición. La clase de espesor de revestimiento promedio mínimo para cualquier espécimen será una clase de revestimiento menor que la requerida para la categoría de

material y espesor apropiados de la Tabla 1. Para una unidad de producto cuya área de superficie es igual o menor de 160 pulgadas² [100 000 mm²], toda el área de superficie de cada artículo de control constituye un espécimen. En el caso de un artículo que contiene más de una categoría de material o margen de espesor de acero según se detalla en la Tabla 1, ese artículo contendrá más de un espécimen, según corresponda (véase la Figura 1).

- 3.2.10 *Espesor de revestimiento del espécimen, sustantivo* – espesor promedio de no menos de cinco mediciones de prueba sobre un espécimen, cuando se elige cada ubicación de medición para que entregue la dispersión más amplia (en todas las direcciones aplicables) de ubicaciones para la categoría acero del artículo de control dentro de los confines del volumen del espécimen.
- 3.2.11 *Artículo de control, sustantivo* – unidad individual de producto que es miembro de la muestra y que es examinado para su conformidad con parte de esta especificación.

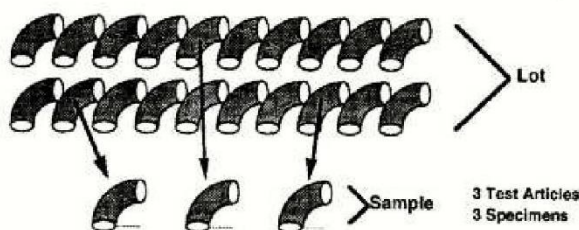


Cada Espécimen (5 o más mediciones ampliamente dispersas) debe tener un Espesor de Revestimiento Promedio Mínimo de -1 clase (Tabla 1)

Cada Artículo de Control de la Muestra (3 Especímenes cada uno) debe tener un Espesor de Revestimiento Promedio Mínimo de (Tabla 1)

Artículos de un solo Espécimen

Artículos cuya Área de Superficie es igual o menos que 160 pulgadas cuadradas (100.000 mm cuadrados).



Cada Espécimen (5 o más mediciones ampliamente dispersas) debe tener un Espesor de Revestimiento Promedio Mínimo de -1 clase (Tabla 1)

Todos los Artículos de Control (Especímenes) Juntos deben tener un Espesor de Revestimiento Promedio Mínimo de (Tabla 1)

Figura 1. Artículos de un solo Espécimen y Multi-Espécimen

Tabla 1 Clase de Espesor de Revestimiento Promedio Mínimo por Categoría de Material
Todos las Muestras Controladas

Categoría de Material	de	Margen de Espesor del Acero (Medido) pulgadas (mm)				
		< 1/16 (<1,6)	1/16 a < 1/8 (1,6 a < 3,2)	1/8 a 3/16 (3,2 a 4,8)	> 3/16 a < 1/4 (>4,8 a <6,4)	≥ 1/4 (≥ 6,4)
Perfiles Estructurales	y	45	65	75	85	100
Placas Estructurales						
Flejes (tiras)	y	45	65	75	85	100
Barras						
Cañería	y	45	45	75	75	75
Tubería						
Alambre		45	50	60	65	80

4. Información del Pedido

- 4.1 Las órdenes de revestimiento entregadas bajo esta especificación deben incluir lo siguiente:
 - 4.1.1 Cantidad (número de piezas a galvanizar) y peso total.
 - 4.1.2 Descripción (tipo y tamaño de los productos) y peso.
 - 4.1.3 Designación de la especificación ASTM y año de emisión.
 - 4.1.4 Identificación del material (véase 5.1) y condiciones de la superficie o contaminación.
 - 4.1.5 Plan de muestreo, si es distinto de 7.3.
 - 4.1.6 Requisitos de controles especiales (véase 8.1).
 - 4.1.7 Requisitos especiales (apilamiento especial, peso mayor del revestimiento, etc.).
 - 4.1.8 Etiquetado o método de identificación de la pieza.

5. Materiales y Manufactura

- 5.1 *Acero o Fierro* –La especificación, clase o designación y tipo y grado de contaminación de la superficie del fierro o acero en artículos a galvanizar serán suministrados por el comprador al galvanizador por inmersión en caliente antes de la galvanización.
Nota 2 – La presencia en aceros y el metal de soldar, en algún porcentaje, de algunos elementos como silicio, carbono y fósforo tiende a acelerar el crecimiento de la capa de aleación zinc-fierro de modo que el revestimiento puede tener un acabado mate con poca o ninguna capa exterior de zinc. El galvanizador tiene solamente un control limitado sobre esta condición. La masa, forma y cantidad de trabajo en frío del producto a galvanizar también puede afectar esta condición. La Práctica A 385 entrega una guía sobre la selección de acero y discute los efectos de diversos elementos en la composición del acero (por ejemplo, silicio) que influyen en el peso y el aspecto del revestimiento.
- 5.2 *Fabricación* – El diseño y fabricación del producto a galvanizar son responsabilidad del diseñador y del fabricante. Las Prácticas A 143, A 384 y A 385 entregan una guía para la fabricación de acero para el óptimo galvanizado por inmersión en caliente y deben ser cumplirse tanto en el diseño como en la fabricación. La consulta entre el diseñador, el fabricante y el galvanizador en etapas apropiadas del diseño y proceso de fabricación disminuirá los futuros problemas.
- 5.3 *Piezas fundidas* – La composición y tratamiento de calor de las piezas fundidas de fierro y acero estarán conformes con las especificaciones designadas por el comprador. Se sabe que algunos tipos de revestimientos presentan problemas potenciales con predisposición al quebramiento durante el ciclo térmico normal de la galvanización por inmersión en caliente. Es responsabilidad del comprador el tratamiento térmico o de lo contrario debe permitir la posibilidad de dicho fenómeno de quebramiento. Los requisitos para las piezas fundidas de fierro maleable a galvanizar serán aquéllos establecidos en la Especificación A 47.
- 5.4 *Zinc* – El zinc usado en el baño de galvanizado estará conforme con la Especificación B 6. Si se usa una aleación de zinc como alimentación primaria para el baño de galvanizado, entonces el material base usado para hacer esa aleación estará conforme con la Especificación B 6.
- 5.5 *Composición del Baño* – El metal fundido en el volumen de trabajo del baño de galvanizado contendrá no menos de un valor promedio de 98.0% de zinc por peso.

Nota 3 – El galvanizador puede elegir agregar cantidades de rastreo de algunos elementos (por ejemplo, aluminio, níquel y estaño) al baño de zinc para ayudar en el procesamiento de algunos aceros reactivos o para aumentar el aspecto cosmético del producto acabado. El uso de estos elementos de rastreo está permitido siempre y cuando la química en volumen del baño de galvanización sea por lo menos 98% de zinc por peso. Los elementos pueden ser agregados al baño de galvanizado como parte de una alimentación de zinc de prealeación o pueden ser agregados al baño por el galvanizador usando una aleación de alimentación maestra.

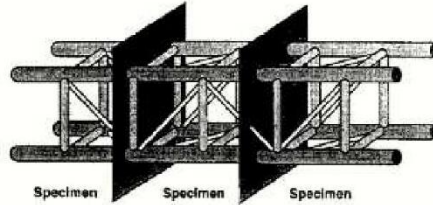
6. Propiedades del Revestimiento

6.1 *Espesor del Revestimiento* – El espesor promedio del revestimiento para todos los especímenes controlados estará de acuerdo con los requerimientos de la Tabla 1 para las categorías y espesores del material a galvanizar. El espesor promedio mínimo de revestimiento para cualquier espécimen individual es una clase de revestimiento menor que la requerida en la Tabla 1. Cuando se galvanicen productos consistentes en varios espesores o categorías de material, las clases de espesor de revestimiento para cada rango de espesor y categoría de material serán las indicadas en la Tabla 1. En el caso de pedidos en unidades SI, los valores de la Tabla 1 serán aplicables como unidades métricas en micrómetros. En el caso de pedidos en unidades pulgada-libra, el valor medido será convertido a unidades de clase de revestimiento mediante la Tabla 2. La especificación de espesores de revestimiento más pesados que aquéllos requeridos por la Tabla 1 estará sujeta al acuerdo mutuo entre el galvanizador y el comprador. (La Figura 2 es una representación gráfica del muestreo y los pasos de delineación del espécimen y la Figura 3 es una representación gráfica de los pasos en la inspección del espesor del revestimiento).

TABLA 2 Clase de Espesor de Revestimiento*

Clase de Revestimiento	milipulgadas	Onza/pie ²	µm	g/m ²
35	1.4	0.8	35	245
45	1.8	1.0	45	320
50	2.0	1.2	50	355
55	2.2	1.3	55	390
60	2.4	1.4	60	425
65	2.6	1.5	65	460
75	3.0	1.7	75	530
80	3.1	1.9	80	565
85	3.3	2.0	85	600
100	3.9	2.3	100	705

*Los valores en micrómetros (μm) están basados en la Clase de Revestimiento. Los otros valores están basados en conversiones usando las siguientes fórmulas: milipulgadas= $\mu\text{m} \times 0.03937$; onza/pie²= $\mu\text{m} \times 0.02316$; g/m²= $\mu\text{m} \times 7.067$



Nota – Cada espécimen comprende nominalmente un tercio del área total de superficie del artículo. Se debe hacer un mínimo de cinco mediciones dentro del volumen de cada espécimen, lo más ampliamente disperso que se pueda dentro de ese volumen, de manera de representar lo más posible el espesor general del revestimiento dentro del volumen del espécimen.

Figura 2. Artículos Hechos de muchos Componentes

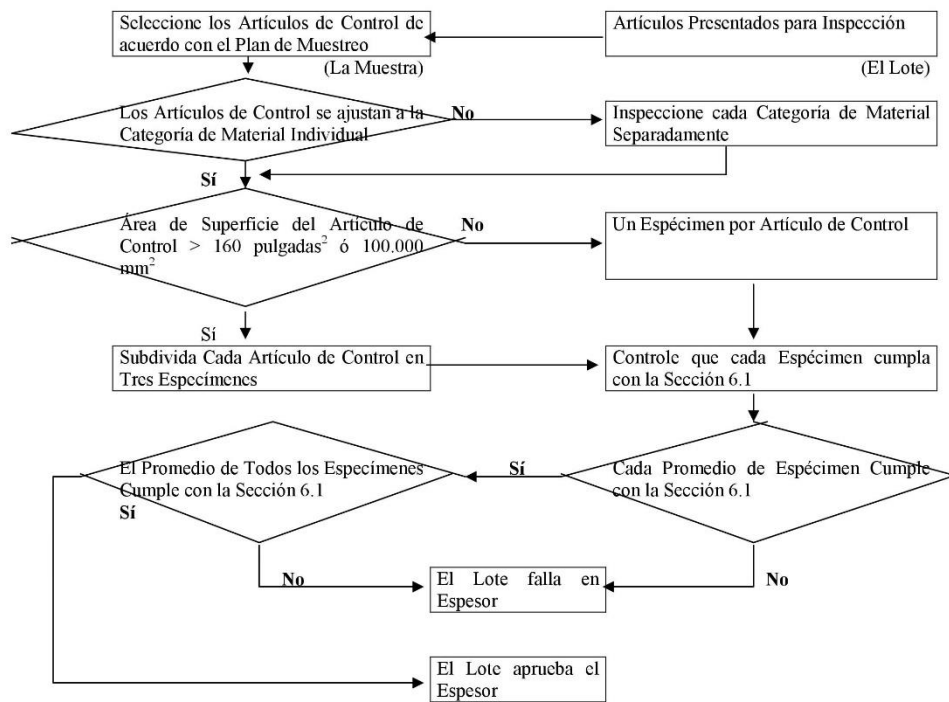


Figura 3. Etapas en la Inspección del Espesor del Revestimiento

- 6.1.1 Para artículos cuya área de superficie es mayor de 160 pulgadas cuadradas [100 000 mm²] (artículos multi-espécimen), cada artículo de control en la muestra debe cumplir los requisitos adecuados de clase de espesor de revestimiento promedio mínimo de la Tabla 1 y cada clase de espesor de revestimiento del espécimen que incluya ese promedio general para cada artículo de prueba, debe promediar no menos de una clase de revestimiento inferior a la requerida en la Tabla 1.
- 6.1.2 Para artículos cuya área de superficie es igual o menor de 160 pulgadas cuadradas [100 000 mm²] (artículos de un solo espécimen), el promedio de todos los artículos de control en la muestra debe cumplir los requisitos de clase de espesor de revestimiento promedio mínimo adecuado de la Tabla 1 y para cada artículo de control, su espesor de revestimiento de espécimen no será menos de una clase de revestimiento inferior a aquella requerida en la Tabla 1.
- 6.1.3 Ninguna medición individual o conjunto de mediciones en la misma ubicación general en un espécimen de prueba será causa de rechazo bajo los requerimientos de espesor de revestimiento de esta especificación siempre que cuando esas mediciones sean promediadas con las otras mediciones dispersas para determinar la clase de espesor de revestimiento del espécimen para ese espécimen, se cumplan los requisitos de 6.1.1 ó 6.1.2 según corresponda.

Nota 4 – Las clases de espesor de revestimiento de la Tabla 1 representan el valor mínimo obtenible con un alto nivel de seguridad para los rangos encontrados típicamente en cada categoría de material. Si bien la mayoría de los espesores de revestimiento serán en exceso de aquellos valores, algunos materiales de cada categoría pueden ser menos reactivos (por ejemplo, debido a la química o condiciones de superficie) que otros materiales del espectro de categoría del acero. Por lo tanto, algunos artículos pueden tener una clase de revestimiento en el requisito mínimo indicado en la Tabla 1 o cerca de él. En tales casos, la precisión y exactitud de la técnica de medición de espesor de revestimiento debe tomarse en consideración al rechazar tales artículos para el espesor de revestimiento inferior al requerido por esta especificación. Los compradores que deseen una garantía de revestimientos más pesados que los espesores mínimos indicados en ella deben usar los requisitos especiales (vea 4.1.6) para especificar las clases de espesor de revestimientos superiores a aquellas indicadas en la Tabla 1. Además, el comprador debe anticipar la necesidad de cargas de control o etapas extras de preparación, o ambas, tales como explosiones antes de la galvanización u otros métodos para intentar alcanzar los

- requerimientos superiores con consistencia. Algunos espesores superiores a la norma puede que sean poco prácticos o inalcanzables.
- 6.2 *Acabado* – El revestimiento será continuo (excepto según se estipula más adelante) y razonablemente parejo y uniforme en espesor según lo permitan el peso, tamaño, forma del artículo y manipulación del artículo durante las operaciones de inmersión y drenaje en la caldera de galvanización. Excepto para el espesor de revestimiento con exceso local que interferirían con el uso del producto o lo hicieran peligroso para manejar (bordes quebrados o clavos), el rechazo del revestimiento no uniforme se hará sólo para el revestimiento en exceso visible a simple vista no relacionado con los factores de diseño como hoyos, uniones o problemas de drenaje especial (vea la Nota 6). Debido a que la suavidad de la superficie es un término relativo, una aspereza menor que no interfiera con el uso deseado del producto o una aspereza que esté relacionada con la condición de superficie como se recibió (no galvanizada), la química del acero, o la reactividad del acero al zinc no serán motivo de rechazo (vea la Nota 7). Las condiciones de la superficie relacionadas con deficiencias asociadas al diseño, detallamiento o fabricación según se menciona en la Práctica A 385 no serán motivo de rechazo. El revestimiento de zinc en componentes con hilo (rosca) de artículos galvanizados bajo esta especificación estará de acuerdo con lo requerido en la Especificación A 153/A 153M. Las superficies que sigan sin revestimiento después de la galvanización se renovarán de acuerdo con los métodos de la Práctica A 780 a menos que el comprador dé instrucciones de dejar las áreas no revestidas sin tratamiento para una posterior renovación por parte del comprador.
- 6.2.1 Cada área sujeta a renovación será de 1 pulgada [25 mm] o menos en su dimensión más angosta.
- 6.2.2 El área total sujeta a renovación de cada artículo no será de más de la mitad del 1% del área de superficie accesible a recubrir en ese artículo ó 36 pulgadas cuadradas por tonelada neta [256 cm² por tonelada métrica] de peso de las piezas, el que sea menor.
- Nota 5 - Las áreas de superficie inaccesibles son aquéllas que no se pueden alcanzar para la preparación adecuada de la superficie ni para la aplicación de materiales de reparación según se describe en la Práctica A780. Dichas áreas inaccesibles, por ejemplo, serían las superficies internas de algunos tanques, postes, cañerías, tubos, etc.
- 6.2.3 El espesor de renovación será el requerido por la clase de espesor para la categoría de material adecuada y el rango de espesor de la Tabla 1 de acuerdo con los requisitos de 6.1, excepto que para la renovación que use pinturas de zinc, el espesor de renovación será

50% superior al requerido por la Tabla 1, pero no mayor de 4.0 milipulgadas.

- 6.2.4 Cuando las áreas que requieran renovación excedan los criterios previamente establecidos o sean inaccesibles para la reparación, el revestimiento será rechazado.

Nota 6 – Los requisitos para el acabado de un producto galvanizado se aplican a un tipo de inspección visual. No se aplican al asunto de variaciones medidas de espesor de revestimiento que pueden encontrarse debido a distintos aceros o diferentes espesores de un determinado acero que se use en un ensamble.

Nota 7 – Los artículos que se preparen para el galvanizado mediante una limpieza abrasiva por lo general desarrollan un revestimiento más grueso con una superficie moderadamente más áspera.

- 6.3 *Componentes con hilo (rosca) en los Ensamblajes* – El revestimiento de zinc en los hilos externos no será sometido a cortes, laminado ni operaciones de acabado con herramientas a menos que se autorice específicamente por el comprador. No está prohibido que los hilos [las roscas] internos sean hilados o re-hilados después del galvanizado. Los revestimientos estarán de acuerdo con los requisitos de la Especificación A 153/A 153M.

- 6.4 *Aspecto* – Al despacho desde las instalaciones de galvanizado, los artículos galvanizados estarán libres de áreas sin revestir, burbujas, depósitos de flujo e inclusiones de escoria bruta. No se permitirán terrones, proyecciones, glóbulos o depósitos pesados de zinc que interfieran con el uso final del material. Los agujeros simples de ½ pulgada [12.5 mm] de diámetro o más estarán limpios y razonablemente libres de exceso de zinc. Las marcas en el revestimiento de zinc causadas por alicates u otros artículos usados para manipular el artículo durante la operación de galvanizado no serán causa de rechazo a menos que dichas marcas dejen expuesto el metal de base y las áreas de metal descubierto excedan los máximos permitidos de 6.2.1 y 6.2.2. Las piezas serán manipuladas de modo que después del galvanizado no se adhieran una a la otra durante el enfriamiento.

Nota 8 – Dependiendo del diseño del producto o del espesor del material, o ambos, puede que ocurra la formación de película o el exceso de zinc en los agujeros simples de menos de ½ pulgada [12.5 mm] de diámetro que requieran un trabajo adicional para hacer que los agujeros se usen como se pretendía.

- 6.5 *Adherencia* – El revestimiento de zinc soportará la manipulación consistente con la naturaleza y espesor del revestimiento y el uso normal del artículo sin pelarse ni descascararse.

Nota 9 – Aunque puede que se forme algún material después del galvanizado, en general el revestimiento de zinc en los artículos cubiertos por esta especificación es demasiado pesado para permitir dobleces severos sin dañar el revestimiento.

7. Muestreo

- 7.1 El muestreo de cada lote será llevado a cabo de conformidad con los requisitos de esta especificación.
- 7.2 Un lote es una unidad de producción o embarque de la cual se puede tomar una muestra para control. A menos que se acuerde lo contrario entre el galvanizador y el comprador o se establezca dentro de esta especificación, el lote será de la siguiente manera: Para controlar en una instalación del galvanizador, un lote es uno o más artículos del mismo tipo y tamaño que comprenden un solo pedido o una sola carga de despacho, el que sea más pequeño o cualquier número de artículos identificados como lote por el galvanizador cuando éstos han sido galvanizados dentro de un solo turno de producción y en el mismo baño. Para el control por el comprador después de la entrega, el lote consiste en un solo pedido o una sola carga de despacho, el que sea más pequeño, a menos que la identidad del lote, establecida de conformidad con lo anterior, se mantenga y se indique claramente en el embarque por el galvanizador.
- 7.3 El método de selección y número de especímenes de control serán acordados entre el galvanizador y el comprador. De lo contrario, los especímenes de control serán seleccionados al azar de cada lote. En este caso, el número mínimo de especímenes de cada lote será como sigue:

Número de Piezas en	Número de Especímenes
3 ó menos	todos
4 a 500	3
501 a 1200	5
1201 a 3200	8
3201 a 10.000	13
10.001 y más	20

Nota 10 – Cuando se deba galvanizar un número idéntico de ítemes, puede que sea deseable un plan de muestreo estadístico. Dicho plan se encuentra en Método de Control B 602 que se refiere a

procedimientos de muestreo para la inspección de revestimientos metálicos electrodepositados y acabados relacionados. Si se usa el Método de Control B 602, el nivel de muestreo puede ser acordado entre el galvanizador y el comprador al momento de hacer la orden de revestimiento.

- 7.4 Un espécimen de control que no cumpla los requisitos de esta especificación no se usará para determinar la conformidad con otros requisitos.

8. Métodos de Control

- 8.1 *Requisitos de Control* – Se realizarán los siguientes controles para asegurar que el revestimiento de zinc se entregue de conformidad con esta especificación. La determinación de los controles para la adhesión y quebramiento estará sometida al acuerdo mutuo entre el galvanizador y el comprador. La inspección visual del revestimiento se hará de conformidad con los requisitos.
- 8.2 *Control del Espesor del Revestimiento* – El espesor del revestimiento se determina por uno o más de los tres métodos descritos a continuación:
- 8.2.1 *Mediciones Magnéticas de Espesor* – El espesor del revestimiento será determinado por mediciones magnéticas de calibre de espesor de acuerdo con la Práctica E 376 a menos que se usen los métodos descritos en 8.2.2, 8.2.3 u 8.2.4. Para cada espécimen (según se describe en 3.2.9) se harán cinco o más mediciones en puntos ampliamente dispersos a través del volumen ocupado por el espécimen de modo que representen de la manera más práctica posible toda el área de superficie del espécimen de control. El promedio de las cinco o más mediciones así hechas para cada espécimen es el espesor de revestimiento del espécimen.
- 8.2.1.1 Para artículos cuya área de superficie es mayor de 160 pulgadas cuadradas [100.000 mm²] (artículos multiespécimen según se describe en 3.2.6), el promedio de las tres clases de espesor de revestimiento del espécimen que comprende cada artículo de control es el espesor promedio de revestimiento para este artículo de control. Se debe evaluar un espécimen para cada categoría de acero y espesor de material dentro de los requisitos para cada espécimen del artículo de control.
- 8.2.1.2 Para artículos cuya área de superficie sea igual o menor que 160 pulgadas cuadradas [100.000 mm²] (artículos de un solo espécimen, según se describe en 3.2.8), el promedio de todas las clases de espesor de revestimiento del espécimen es el espesor promedio de revestimiento para la muestra.



- 8.2.1.3 En el caso de componentes con hilo, el espesor de revestimiento se hará en una porción del artículo que no incluya ningún hilo.
- 8.2.1.4 El uso de métodos magnéticos de medición es adecuado para artículos más grandes y es apropiado para artículos más pequeños cuando hay suficiente área de superficie plana para que la punta de la probeta se coloque plana en la superficie usando la Práctica E 376.
- 8.2.2 *Método de Descortezamiento [Peladura]* – El peso promedio del revestimiento se determinará descortezando un artículo de control, un espécimen sacado de un artículo de control o grupo de artículos de control en el caso de ítems muy pequeños como clavos, etc. de conformidad con el Método de Control A 90/A 90M a menos que se usen los métodos descritos en 8.2.1, 8.2.3 u 8.2.4. El peso del revestimiento por área de unidad así determinado es convertido a valores de espesor de revestimiento equivalentes de acuerdo con la Tabla 2 (redondeados hacia arriba o hacia abajo según corresponda). El espesor de revestimiento así obtenido es el espesor de revestimiento del artículo de control o en el caso de un espécimen sacado de un artículo de control, es el espesor de revestimiento promedio del espécimen.
- 8.2.2.1 El método de descortezamiento es un control destructivo y es adecuado para artículos de un solo espécimen pero puede que no sea práctico para artículos multi-espécimen.
- 8.2.3 *Pesaje antes y después del galvanizado* – El peso promedio del revestimiento se determinará pesando los artículos antes y después del galvanizado, restando el primer peso del segundo y dividiendo el resultado por el área de la superficie a menos que se usen los métodos descritos en 8.2.1, 8.2.2 u 8.2.4. El primer peso se determinará después del baño químico y del secado y el segundo después del enfriamiento a temperatura ambiente. El peso del revestimiento por área de unidad así determinado es convertido a valores de espesor de revestimiento equivalentes de acuerdo a la Tabla 2 (redondeado hacia arriba o hacia abajo según corresponda). El espesor del revestimiento así obtenido es el espesor del revestimiento del artículo de control.
- 8.2.3.1 El pesaje antes y después del método puede ser adecuado para artículos de un solo espécimen, pero es poco práctico para artículos multi-espécimen.

Nota 11 – Tanto el método descortezamiento como el pesaje antes y después del método no toman en cuenta el peso del hierro que reaccionó del artículo que es incorporado en el revestimiento. Así los métodos pueden subestimar el peso del revestimiento (y, por lo

tanto, el espesor calculado) en hasta el 10%. La exactitud de ambos métodos estará influida por la exactitud a la cual se puede determinar el área de superficie de los artículos controlados.

- 8.2.4. *Microscopio* – El espesor del revestimiento puede determinarse mediante mediciones de corte longitudinal y ópticas de acuerdo con el Método de Control B 487 a menos que se usen los métodos descritos en 8.2.1, 8.2.2 u 8.2.3. El espesor así determinado es un valor punta. Se deben hacer no menos de cinco de dichas mediciones en las ubicaciones de los artículos de control que sean tanto ampliamente dispersos como prácticas, de modo de ser representativos de toda la superficie del artículo de control. El promedio de no menos de cinco de dichas mediciones es el espesor de revestimiento del espécimen.
- 8.2.4.1 El método de microscopio es un control destructivo y es adecuado para artículos de un solo espécimen, pero es poco práctico para artículos de multi-espécimen.
- 8.2.5 *Método de Árbitro* – En el caso de disputa por el espesor de las mediciones del revestimiento, la disputa se resolverá de la siguiente manera:
- 8.2.5.1 Para los artículos multi-espécimen, se tomará al azar una nueva muestra del lote de material, que tenga el doble de artículos de control que la muestra que no cumplió con esta especificación. Si el tamaño del lote es tal que el tamaño de la muestra no pueda duplicarse, entonces el tamaño de la muestra será como el anterior, pero el número de los sitios ampliamente dispersos en el cual se hicieron las mediciones se duplicará y estos sitios constituirán la nueva muestra. Esta nueva muestra se medirá usando calibres de espesor magnético cuya exactitud haya sido calibrada contra normas de espesor de material de referencia. Si se encuentra que el lote no cumple en la nueva muestra, el galvanizador tiene derecho de elegir el lote para los artículos que cumplan mediante control individual, re-galvanizar los artículos que no cumplen o renovar los artículos que no cumplen de acuerdo con 6.2.
- 8.2.5.2 Para artículos de un solo espécimen, se tomará al azar una nueva muestra del lote de material, que tenga el doble de artículos de control que la muestra que no cumplió con esta especificación. El método de control para la nueva muestra se seleccionará de mutuo acuerdo entre el comprador y el galvanizador. Si se encuentra que el lote no cumple en la nueva muestra, el galvanizador tiene derecho a elegir el lote para los artículos que cumplan mediante control individual, re-galvanizar los artículos

Anexo 3. Especificaciones técnicas

  Ministerio de Electricidad y Energía Renovable			José Tamayo E10-25 y Lizardo García Telf.: + (593 2) 3976000 www.energi.gob.ec
SECCIÓN 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN			
ABRAZADERA ACERO GALVANIZADO, PLETINA, 2 PERNOS		REVISIÓN: 06	
		FECHA: 2014-07-11	
ESPECIFICACIONES GENERALES			
ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN	
1	MATERIAL		
1.1	Material de la abrazadera	Pletina de acero estructural laminada en caliente de alta resistencia	
1.2	Material de los accesorios	Acero estructural laminada en caliente	
1.3	Normas de fabricación y ensayos del material	INEN 2215 - 2222, ASTM A283	
1.4	Requisitos mecánicos del material:		
1.4.1	Resistencia mínimo a la fluencia (Fy)	2 400 Kg/cm ²	
1.4.2	Resistencia mínima de tracción	3 400 Kg/cm ²	
1.4.3	Resistencia máxima de tracción	4 800 Kg/cm ²	
2	DIMENSIONES		
2.1	Abrazadera:		
2.1.1	Dimensiones pletina: ancho x espesor	Ver especificaciones particulares	
2.1.1.1	Tolerancia en las dimensiones: ancho x espesor	Ancho: +- 1 mm; Espesor: +- 0,5 mm	
2.1.2	Diámetro mínimo de abrazadera con apertura de pernos de 20 mm	Ver especificaciones particulares	
2.2	Perno rosca corrida	Ver especificaciones particulares	
2.3	Tuerca hexagonal	Ver especificaciones particulares	
2.4	Arandela plana		
2.5	Arandela presión	NOTA 1	
3	REQUISITOS CONSTRUCTIVOS	NOTA 2	
3.1	Forma del doblado medio de la abrazadera	NOTA 3	
4	ACABADO DEL GALVANIZADO	NOTA 4	
4.1	Galvanizado	Por inmersión en caliente	
4.1.1	Normas de Galvanizado	NTE INEN 2483, ASTM A123, ASTM A153	
4.1.2	Espesor del galvanizado	Ver especificaciones particulares	
5	CANTIDAD DE ACCESORIOS	NOTA 5	
5.1	Perno rosca corrida	2	
5.2	Tuerca hexagonal	4	
5.3	Arandela plana	4	
5.4	Arandela de presión	4	
6	EMBALAJE		
6.1	Empaque del lote		
6.2	Unidades por lote	De acuerdo a los requerimientos de las EDs	
6.3	Peso neto aproximado del lote		
7	CERTIFICACIONES		
7.1	Certificado de conformidad	Material: Cumplimiento de características físicas, mecánicas y químicas, de acuerdo a la Norma NTE INEN 2215 o equivalente - NOTA 6	



Ministerio de Electricidad
y Energía Renovable

José Tamayo ESO-25 y Lizardo García
Telf.: + (593 2) 3976000
www.energie.gob.ec

SECCIÓN 3: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

CRUCETA DE ACERO GALVANIZADO UNIVERSAL, PERFIL "L"

REVISIÓN: 06

FECHA: 2014-07-11

ESPECIFICACIONES GENERALES

ITEM	DESCRIPCION	ESPECIFICACION
1	MATERIAL	Pletina ángulo de acero estructural laminada en caliente
1.1	Normas de fabricación y ensayos del material	NTE INEN 2215 - 2224 - ASTM A283
1.2	Requisitos mecánicos del material:	
1.2.1	Resistencia mínimo a la fluencia (Fy)	2 400 Kg/cm ²
1.2.2	Resistencia mínima de tracción	3 400 Kg/cm ²
1.2.3	Resistencia máxima de tracción	4 800 Kg/cm ²
2	DIMENSIONES	
2.1	Dimensiones ángulo	Ver especificaciones particulares
2.1.1	Tolerancia en las dimensiones del ángulo	Ancho: ± 1 mm; espesor: ± 0,5 mm
2.2	Longitud (L)	Ver especificaciones particulares
2.3	Ubicación y diámetro de orificios	De acuerdo a gráfico anexo
3	REQUISITOS CONSTRUCTIVOS	NOTA 1
4	ACABADO	NOTA 2
4.1	Galvanizado	Inmersión en caliente
4.1.1	Normas de Galvanizado	NTE INEN 2483, ASTM A123
4.1.2	Espesor del galvanizado mínimo promedio en la pieza	85 micras
5	EMBALAJE	
5.1	Empaque del lote	De acuerdo a requerimiento de las EDs
5.2	Unidades por lote	
5.3	Peso neto aproximado	
6	CERTIFICACIONES	
6.1	Certificado de conformidad	Material: Cumplimiento de características físicas, mecánicas y químicas, de acuerdo a la Norma NTE INEN 2215 o equivalente. NOTA 3.
6.2	Protocolo del galvanizado	Para proveedores y/o fabricantes extranjeros: Certificaciones del cumplimiento de normas del galvanizado, emitidos por Organismos de Certificación Acreditados
6.3	Reporte de ensayo del Galvanizado	Para Contratista Adjudicado - NOTA 4
6.4	Certificado emitido por el proveedor del Material	NOTA 5
7	MUESTRAS	De acuerdo a requerimiento de las EDs
NOTAS:		
1	El perfil "L" de acero será de un solo cuerpo, no se aceptarán soldaduras. Los cortes a efectuarse se realizarán con máquinas de corte para generar superficies lisas, serán rectos a simple vista y estarán a escuadra o formando el ángulo adecuado, las aristas de las piezas cortadas deberán estar libres de rebabas y defectos. Todos los cortes a 90° serán redondeados. Las perforaciones se efectuarán únicamente por el proceso de punzonado o taladrado y quedarán libres de rebabas, los centros estarán localizados de acuerdo a las medidas de diseño y deberán mantenerse las distancias señaladas a los bordes de los perfiles (gráfico anexo).	
2	GALVANIZADO: El galvanizado de todas las piezas será por inmersión en caliente y posterior a la ejecución de cortes y perforaciones. El acabado de toda la pieza deberá mostrar una superficie lisa, libre de rugosidades y aristas cortantes. Toda la pieza con sus perforaciones deberá estar libres de rebabas, venas, traslapos y superficies irregulares que afecten su funcionalidad.	

Anexo 4 Registro para recepción de producto

Logo de la empresa	REGISTRO							Código: CC-RG-01
	RECEPCIÓN DE PRODUCTO							Versión: 00
	Emisor: Control de Calidad				Vigente desde: 01/04/2019			Página: 1 de 1
Recibido por:			Fecha:			Turno:		Especificación:
N°	Tipo de producto	OT	Tamaño	N° de piezas	Peso Unidad	Peso Total	Condiciones de la superficie	Observaciones
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Anexo 5 Registro de muestreo de producto

Logo de la empresa	REGISTRO						Codigo: CC-RG-02			
	MUESTREO DE PRODUCTO						Versión: 00			
	Emisor: Control de Calidad			Vigente desde: 01/04/2019			Página: 1 de 1			
Galvanizado por:				Fecha:		Turno:				
OT	Tipo de producto	N° de baño	N° de piezas	Medición de micras					Promedio	Observaciones de acabado
				1	2	3	4	5		

Anexo 7 Parámetros de recepción de producto

Logo de la empresa	Anexo 9.1 Parámetros de Inspección Recepción
1.- La soldadura deberá estar libre de escoria y de flujo. Las salpicaduras de soldadura serán mínimas.	
2.- Los artículos que se soldaron con aluminio o tienen insertos de aluminio se rechazaran, porque estos metales reaccionan con el zinc durante el proceso de galvanización y serán destruidos.	
3.- No puede haber rastros de ninguna pintura en la superficie del acero, excepto pintura soluble en agua.	
4.- El material que se ha dañado mecánicamente o deformado debido a la soldadura, se debe excluir del grupo, estos se deben reparar o reemplazar antes de galvanizar.	
5.- Las cantidades y peso deben estar como se indica en la orden de trabajo entrante.	

Anexo 8 Tiempos de inmersión de acuerdo con el espesor del material

Logo de la empresa	Anexo 9.2 Tiempos de inmersión de acuerdo con el espesor del material.	
Material	Espesor (mm)	Tiempo de inmersión (min, seg)
Brazos Luminaria	3,2 - 4,8	04:25
Brazos Tensores	3,2 - 4,8	03:35
Crucetas	4,8 - 6,4	04:41
Abrazaderas	3,2 - 4,8	02:31

Anexo 7 Informe de inspección final

<div style="border: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto; padding: 5px;"> Logo de la empresa </div>	Anexo 9.3 Galvanizado por Inmersión en caliente Informe de Inspeccion final			
Cliente:		Fecha:		
Orden de trabajo N°:				
Cantidad por orde N°:				
Cantidad a ser inspeccionada:				
Aceptado:		Rechazado:		
Descripcion del material	Cantidad Inspeccionada	Lecturas de espesor registradas	Razones para rechazo	Aceptado o Rechazado

Fecha:

Inspeccionado por (Nombre y firma):