



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN
EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA
CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC**

Caso: Empresa manufacturera de alambres

Autora: Ing. María Antonieta Colmenares

C.I: 18.262.742

Tutor: Ing. MsC. Roger Uzcátegui

Valencia, Mayo 2019



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN
EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA
CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC**

Caso: Empresa manufacturera de alambres

Autora: Ing. María Antonieta Colmenares

C.I: 18.262.742

Trabajo de Grado presentado ante la Dirección de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo para optar al Título de Magíster en Ingeniería Industrial.

Valencia, Mayo 2019



ACTA DE DISCUSIÓN DE TRABAJO DE GRADO

En atención a lo dispuesto en los Artículos 137, 138 y 139 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 135 del citado Reglamento, para estudiar el Trabajo de Grado titulado:

**“MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON
FUNDAMENTO EN EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS
QUE REPERCUTA EN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO
DEL ZINC”**

Presentado para optar al grado de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL** por el (la) aspirante:

MARÍA COLMENARES
V.- 18.262.742

Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO**.

En Valencia, a los treinta y un (31) día del mes de Mayo del año dos mil diecinueve.

Prof. Roger Uzcátegui

C.I.: 19.261418

Fecha: 31/05/2019



Prof. Giovanni Pizella

C.I.: 4455859

Fecha: 31/05/2019

Prof. Roselin Santamaría

C.I.: 9824969

Fecha: 31/05/2019

FE: 27/05/2019 /D6.-

ACTA DE APROBACIÓN



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION DE POSTGRADO



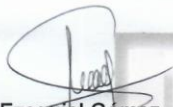
ACTA DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO


Por medio de la presente hacemos constar que el Proyecto del Trabajo de Grado titulado: "MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC. Caso: Empresa manufacturera de alambres.", presentado por la ciudadana: **María Antonieta Colmenares.**, cédula de identidad V- 18.262.742 Alumna Regular del Programa de Maestría en **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, quien reúne los requisitos exigidos para su aprobación.

El **Prof. Roger Uzcátegui**, aceptó la Tutoría de este Trabajo, según Constancia anexa.

En Valencia, a los seis días del mes de Febrero del Dos Mil Dieciocho.

Por la Comisión Coordinadora:


Prof. Ezequiel Gómez
Coordinador del Programa


Prof. Adolfo Cejas
Miembro




Profa. Roselin Santamaría
Miembro

UNIVERSIDAD DE CARABOBO / DIRECCION DE POSTGRADO

FACULTAD DE INGENIERÍA NAGUANAGUA SECTOR BARBULA - Teléfonos Directos: (0241) 8672829 / 8674268 - 8678885 EXT 102. FAX - (0241) 8671655 <http://postgrado.ing.uc.edu.ve>

AUTORIZACIÓN DEL TUTOR



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



AUTORIZACIÓN DEL TUTOR

Dando cumplimiento a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo en su artículo 133, quien suscribe Ing. MsC. Roger Uzcátegui, titular de la cédula de identidad N° V.- 9.261.418, en mi carácter de Tutor del Trabajo de Maestría titulado: **MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC. Caso: Empresa manufacturera de alambres**, presentado por la ciudadana Ing. María Antonieta Colmenares Briceño, titular de la cédula de identidad N° V - 18.262.742, para optar al título de Magíster en Ingeniería Industrial, hago constar que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se le designe.

En Valencia a los cinco días del mes de noviembre del año dos mil dieciocho.


Ing. MsC. Roger Uzcátegui
C.I. 9.261.418

AVAL DEL TUTOR




UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



AVAL DEL TUTOR

Dando cumplimiento a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo en su artículo 133, quien suscribe Ing. MsC. Roger Uzcátegui, titular de la cédula de identidad V.- 9.261.418, en mi carácter de Tutor del Trabajo de Maestría titulado: **MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC. Caso: Empresa manufacturera de alambres**, presentado por la ciudadana Ing. María Antonieta Colmenares Briceño, titular de la cédula de identidad N° V - 18.262.742, para optar al título de Magister en Ingeniería Industrial, hago constar que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se le designe.

En Valencia a los cinco días del mes de noviembre del año dos mil dieciocho.


Ing. MsC. Roger Uzcátegui
C.I. 9.261.418

INFORME DE ACTIVIDADES

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

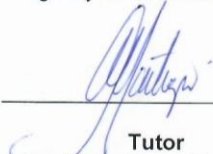
INFORME DE ACTIVIDADES

Título del Trabajo: "MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC. Caso: Empresa manufacturera de alambres"

Línea de investigación: Control de calidad.

SESIÓN	FECHA	ASUNTO TRATADO	OBSERVACIÓN
I	Mar-17	Definición de objetivos y plan de trabajo	Correcciones
II	May-17	Entrega capítulo i	Correcciones y aprobación
III	Nov-17	Avance capítulo ii	Correcciones
IV	Dic-17	Avance capítulo iii	Correcciones
V	Ene-18	Entrega de proyecto (capítulo i, ii y iii)	Correcciones y aprobación
VI	May-18	Avance capítulo iv	Correcciones
VII	Ago-18	Diagnóstico de las condiciones actuales	Correcciones y aprobación
VIII	Ago-18	Evaluación de la calidad del producto	Correcciones
IX	Sep-18	Determinación de causas	Correcciones
X	Sep-18	Diseño del plan de mejoras	Correcciones y aprobación
XI	Oct-18	Conclusiones y recomendaciones	Correcciones
XII	Oct-18	Entrega de proyecto completo	Correcciones y aprobación

Comentarios finales acerca de la investigación: Presenta rigor metodológico y de contenido.



Tutor
Ing. MsC. Roger Uzcátegui
C.I.: 9.261.418



Participante
Ing. María Antonieta Colmenares
C.I.: 18.262.742



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN
EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA
CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC**

Caso: Empresa manufacturera de alambres

Autora: Ing. María Antonieta Colmenares

Aprobado en el área de Estudios de Postgrado
de la Universidad de Carabobo por miembros de
la Comisión Coordinadora de Programa.

Valencia, Mayo 2019



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado TITULADO **MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC. Caso: Empresa manufacturera de alambres**, presentado por la ciudadana Ing. María Antonieta Colmenares Briceño, titular de la cédula de identidad N° V - 18.262.742, PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL, ESTIMAMOS QUE EL MISMO REUNE LOS REQUISITOS PARA SER CONSIDERADO COMO **APROBADO**.

Nombre	Apellido	C.I	Firma
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Valencia, Mayo 2019

DEDICATORIA

*A Dios, por ser mi
fortaleza y guía para
lograr mis objetivos de
manera exitosa.*

*A mi madre, por ser el
pilar fundamental en
todo lo que soy.*

*A mi esposo, por ser mi
compañero y apoyo en
todo momento.*

*A mis hermanos y
demás familiares.*

AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por ser mi
fuerza motora de
perseverancia.*

*A mi esposo, por su
ayuda, comprensión,
paciencia y sus palabras
de motivación.*

*A mi tutor, por ser mi
orientador a lo largo de
esta investigación, por
todo su tiempo y
dedicación.*

*A la empresa, por su
gran aporte y
colaboración.*

*A cada una de las
personas que forman
parte del logro de esta
meta.*

ÍNDICE GENERAL

	pp
ÍNDICE DE CUADROS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
EL PROBLEMA	3
Planteamiento del problema	3
Formulación del Problema	9
Objetivos de la investigación	9
<i>Objetivo general</i>	9
<i>Objetivos específicos</i>	10
Justificación de la investigación	10
Alcance	12
Limitaciones	12
CAPÍTULO II	13
MARCO TEÓRICO	13
Antecedentes de la investigación	13
Bases Teóricas	18
Bases Legales	39

Definición de términos básicos	41
CAPÍTULO III.....	43
MARCO METODOLÓGICO	43
Tipo de investigación	43
Diseño de la investigación	44
Nivel de la investigación	44
Unidad de análisis	45
Técnicas e instrumentos para la recolección de información.....	46
Validez del instrumento.....	47
Confiabilidad del instrumento.....	48
Técnicas de procesamiento y análisis de la información	48
Fases de la investigación.....	49
Operacionalización de las Variables.....	53
CAPÍTULO IV.....	56
ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
Diagnóstico de las condiciones actuales de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado de alambres	56
Evaluación de la calidad del producto dentro del proceso productivo, midiendo la eficiencia del proceso, utilizando el método defectos por millón de oportunidades o DPMO	79
Determinación de las causas que originan variaciones de calidad en el proceso de recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas	81

Diseño de un plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc con fundamento en el control y reducción de fallas en una línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo	92
Evaluación económica del plan de mejoras propuesto	103
CAPÍTULO V.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
Conclusiones	109
Recomendaciones	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS.....	120
ANEXO A	121
Cuestionario aplicado a los operadores de producción	121
ANEXO B	123
Documento de validación del cuestionario aplicado a los operadores de producción de una empresa manufacturera de alambres.....	123
ANEXO C	126
Coeficiente Alfa Cronbach del cuestionario aplicado a los operadores de producción de una empresa manufacturera de alambres.....	126

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°	pp
1. Medida del Nivel Sigma	22
2. Masa mínima de recubrimiento de zinc en alambres de bajo carbono.	29
3. Criterios sugeridos de evaluación de la severidad para AMEFP ...	34
4. Criterios sugeridos para evaluación de ocurrencia en AMEFP	36
5. Criterios para la evaluación de detección en AMEFP	37
6. Unidad de análisis.....	45
7. Operacionalización de las Variables	54
8. Tipos y Producción de Alambre Galvanizado	56
9. Resultados de la determinación de la masa mínima de la capa de zinc por producto.....	59
10. Tolerancias en los diámetros del alambre trefilado	68
11. Diagrama del proceso – Etapa: tina de ácido	71
12. Ensayos rechazados por recubrimiento	79
13. Resultados del DPMO y Nivel Sigma.....	80
14. Criterios evaluados para la severidad	82
15. Frecuencia de causas reportadas	84
16. Análisis de modos y efectos de falla del Galvanizado.....	86
17. Plan de mejoras	93
18. Modelo de registro de las charlas y/o reuniones	95
19. Formato de registro para limpieza de tina de zinc.....	96

20. Diagrama de proceso – Limpieza de tina de zinc	97
21. Formato de control de nivel del baño de la tina de zinc	98
22. Calidad del baño de sales según su color.....	99
23. Formato de control del baño de sales	99
24. Formato de control del baño de ácido.....	101
25. Formato de control de temperatura baño zinc	102
26. Formato de control de limpieza boquillas – tina de lavado.....	103
27. Criterios de aceptación	104
28. Costos generales de la propuesta.....	105
29. Consumo de zinc actual.....	106
30. Flujo de caja.....	107
31. Evaluación de la propuesta de mejora	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°	pp
1. Factores de la competitividad.....	20
2. Microestructura de un revestimiento galvanizado.	27
3. Escala de Likert.....	47
4. Ejemplo de formato AMEF para proceso con número de actividades.....	52
5. Diagrama de operaciones del proceso de fabricación del alambre galvanizado.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°	pp
1. Ensayos aprobados en la determinación de recubrimiento de zinc de alambres galvanizados.....	7
2. Ensayos realizados al alambre galvanizado..	58
3. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado de alambres...	61
4. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C9.....	62
5. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C12.....	63
6. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C16.....	64
7. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C17.....	65
8. Concentración del ácido clorhídrico de la tina.....	70
9. Medición de temperatura en la tina..	72
10. Consumo de zinc..	73
11. Generación de escoria.....	74
12. Resultados de encuesta referente a conocimiento, ítem 1, 2 y 3..	75
13. Resultados de encuesta referente a capacitación, ítem 4, 5 y 6...	76
14. Resultados de encuesta referente a experiencia, ítem 7, 8 y 9.....	77
15. Diagrama de Pareto.....	91



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN
EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA
CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC**

Caso: Empresa manufacturera de alambres

Autora: Ing. María Antonieta Colmenares

Tutor: Ing. MsC. Roger Uzcátegui

Año: 2019

RESUMEN

El presente estudio tuvo como finalidad proponer un plan de mejoras en el proceso de galvanizado con fundamento en el control y reducción de fallas que repercute en la calidad del recubrimiento de zinc de una empresa manufacturera de alambres. Para ello, se planteó como una investigación de campo, bajo el enfoque de diseño no experimental y de nivel descriptiva. Se realizó un diagnóstico de la situación de la empresa mediante la recopilación documental y la aplicación de una encuesta a los operadores de planta, la validación del instrumento fue a través de juicio de expertos y la confiabilidad por medio del coeficiente Alfa de Cronbach. Luego se evaluó la calidad del producto por medio del método defectos por millón de oportunidades determinando así el nivel sigma del proceso. Seguidamente, se determinaron las causas que originan las variaciones en el proceso por medio de la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas y una vez obtenidos los valores de los números de prioridad de riesgos se seleccionaron las que representan mayor relevancia. Finalmente, se realizó un plan de mejoras a través de la metodología 5W2H basado principalmente en los controles de proceso.

Palabras claves: galvanizado, calidad, análisis de modos y efectos de fallas, mejora continua.



UNIVERSITY OF CARABOBO
FACULTY OF ENGINEERING
GRADUATE MANAGEMENT
MASTER OF INDUSTRIAL ENGINEERING



IMPROVEMENTS IN THE GALVANIZED PROCESS WITH BASIS ON THE
CONTROL AND REDUCTION OF FAULTS THAT AFFECTS IN THE
QUALITY OF ZINC COATINGS

Case: Wire manufacturing company

Author: Eng. María Antonieta Colmenares
Tutor: Eng. MsC. Roger Uzcátegui
Year: 2019

ABSTRACT

The purpose of this study was to propose a plan for improving the galvanizing process based on the control and reduction of faults that affect the quality of the zinc coating of a wire manufacturing company, for this purpose it was proposed as a field investigation, under the non-experimental design and descriptive level approach. A diagnosis of the situation of the company was made by means of the documentary compilation and the application of a survey to the plant operators, the validation of the instrument was through expert judgment and the reliability by means of the Cronbach's Alpha coefficient. Then, the quality of the product was evaluated by means of the defects per million opportunities method, thus determining the sigma level of the process. Then, the causes that origins the variations in the process was determined through the application of the failure modes and effects analysis, and once the values of the priority numbers of risks was obtained, it was selected those that represent greater relevance. Finally, an improvement plan was made through the 5W2H methodology based mainly on process controls.

Keywords: galvanized, quality, analysis of failure modes and effects, continuous improvement.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas en crecimiento o con aspiraciones a crecer, están enfrentadas a distintos retos importantes que si son ignorados pueden limitar el desarrollo y su participación en el mercado, por lo que deben estar preparadas para poder ofrecer servicios y productos a los clientes con calidad si aspiran a consolidarse en un mercado globalizado, cambiante y competitivo, por lo que Da Silva (2017) expresa:

Las empresas del futuro enfrentan el enorme reto de incrementar la velocidad de su reinversión propia, esa que asegure que su aproximación al mercado se ajuste a mantener su marca atractiva, confiable, y creíble para el usuario y/o consumidor. Tendrán que analizar con mayor acuciosidad sus riesgos, esos que provienen de situaciones antes inexistentes, y que ahora marcan las condiciones de operación.

Asimismo, las empresas fabricantes de alambres y productos derivados de estos, se ven confrontados con el mismo desafío, es decir, de cómo mantener su viabilidad en el mercado ante la fuerte presión y los crecientes costes, existiendo así la necesidad de mejorar continuamente sus procesos para no caer en la pérdida de tiempo, materiales, ni productividad.

Es por ello, que en los últimos tiempos la Calidad en las empresas ha adquirido notable difusión e importancia en las organizaciones, debido a que proporcionan metodologías y herramientas correctas para obtener buenos resultados y posibilidades de apreciar la satisfacción de los procesos y de los clientes, impulsando así a las empresas a ser más sólidas en el tiempo y en cualquier mercado, así pues, León (2015) expone:

Hoy en día es necesario cumplir con los estándares de calidad para lograr entrar a competir en un mercado cada vez más exigente; para esto se debe buscar la mejora continua, la satisfacción de los clientes y la estandarización y control de los procesos.

Por consiguiente, el objetivo principal de esta investigación está orientado a proponer un plan de mejoras en el proceso de galvanizado con fundamento en el control y reducción de fallas que repercute en la calidad del recubrimiento de zinc de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo, la cual está estructurada de la siguiente manera:

En el Capítulo I - El Problema, se expone como fue planteada la investigación, se formulan los objetivos, justificación, alcances y limitaciones. Seguidamente en el Capítulo II - Marco Teórico, hace referencia a los antecedentes consultados, todas las bases teóricas y legales que son de interés en la resolución del problema. En el Capítulo III – Marco Metodológico, se muestra el tipo, diseño y nivel de la investigación, también se expone la unidad de análisis, técnicas e instrumentos para la recolección de información y análisis de la información, las fases de su desarrollo y, por último, la operacionalización de las variables de la investigación.

Por su parte, en el Capítulo IV – Análisis de Resultados, se presentan los resultados obtenidos una vez desarrollada cada una de las fases de la investigación. Del mismo modo, en el Capítulo V, se plantean las Conclusiones y Recomendaciones realizadas en base al cumplimiento de los objetivos de la investigación y finalmente se presentan las Referencias Bibliográficas consultadas y los Anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

La necesidad de mejorar la calidad de los procesos y productos en las organizaciones se ha extendido a lo largo de los últimos años con el fin de ser competitivos. La competitividad según Monterroso (2016) "...es un aspecto central en la sustentabilidad y éxito de una organización..." (p. 6), por lo que la competencia se hace más ardua y sólo las empresas que logran importantes diferencias aspiran aumentar su participación en el mercado y a responder activamente a cualquier reto que pueda presentarse, esto con la única intención de permanecer y ser rentables en el tiempo.

Tanto es así que, hoy en día, los mercados operan bajo un ambiente en constante movimiento, por lo que se requiere de organizaciones dinámicas que puedan adaptarse ante cualquier circunstancia y/o adversidades políticas, económicas, sociales y hasta culturales, para que puedan ser capaces de dar cumplimiento y satisfacer las exigencias de los clientes, tal como lo indica la Norma ISO 9004:2009:

El entorno de la organización estará sometido a cambios continuamente, independientemente de su tamaño (grande o pequeño), sus actividades y productos, o su tipo (con o sin ánimo de lucro); en consecuencia, la organización debería realizar el seguimiento de esto de manera constante. Este seguimiento debería permitir a la organización identificar, evaluar y gestionar los riesgos relacionados con las partes interesadas y sus necesidades y expectativas cambiantes (p. 2).

Indudablemente, de esta realidad no escapan las industrias venezolanas manufactureras de alambres de acero, inmersas en el mismo entorno cambiante, por lo que deben buscar posicionarse en relación a otras empresas, asociándose a la permanencia en el mercado y a la generación de valor para el cliente, y más aún que "...las empresas siderúrgicas son un eje para el desarrollo económico y social de la región..." (p. 2) según Murati y Pozo (2013), de tal modo, deben estar orientadas a optimizar y mejorar continuamente la calidad de sus productos, procesos y servicios, lo cual les permitirá seguir evolucionando y preparándose para los retos futuros.

Considerando lo anterior, el acero es la materia prima de dichas empresas manufactureras, Sánchez, Contreras, Pérez, Del Rincón y Campos (2008) destacan que "el acero es uno de los materiales más utilizados a nivel mundial y en distintas actividades comerciales e industriales, por su bajo costo y sus excelentes propiedades mecánicas..." (p. 2); sin embargo, el mismo, no queda exento de la corrosión cuando es expuesto a diversos medios ambientales. El recubrimiento por galvanización en caliente del acero, tiene como principal objetivo evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental pueden ocasionar sobre el hierro, componente principal del acero, al respecto American Galvanizers Association (2016) expresa:

Una característica clave de los productos galvanizados en caliente (HDG) es la durabilidad, que brinda décadas de rendimiento exento de mantenimiento. Para cualquier ambiente, el tiempo hasta el primer trabajo de mantenimiento del acero HDG es directamente proporcional al espesor del revestimiento con zinc (p. 4).

De allí, que la vida útil del recubrimiento de zinc es considerada como una función lineal del grosor del recubrimiento de zinc y en efecto, la

uniformidad del mismo adquiere una vital importancia, por lo que se requiere de un proceso de inspección que garantice el cumplimiento de las especificaciones correspondiente al producto final, tal como lo indica American Galvanizers Association (2016):

El espesor del revestimiento es un requisito importante en la especificación y la eficacia del galvanizado en caliente como un sistema de protección contra la corrosión. Sin embargo, medir el espesor del revestimiento es sólo uno de los muchos requisitos de especificación en el proceso de inspección. Otros requisitos claves incluyen la adherencia, el aspecto y el acabado (p. 4).

Sin duda, para la implementación de mejoras en los productos, procesos y/o servicios, se hace necesario la aplicación de metodologías que estén asociadas al aumento de la confiabilidad y a la búsqueda de soluciones de los problemas que puedan presentarse, e incluso para prevenirlos, obteniendo mejores costos y beneficios. Entre éstas resalta el análisis de modos y efectos de fallas, también conocido como AMEF, el cual, es un método de identificación de problemas potenciales (errores) y de sus posibles efectos en un sistema para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta. Sobre éste método analítico, Guirigay y Llanes (2012) opinan:

... es un proceso ordenado para la identificación de las fallas de un producto, máquina, sistema o proceso de manufactura antes de que estas ocurran o en su defecto detectarlas... tiene como objetivos principales: identificar los modos por los cuales los sistemas pueden dejar de cumplir sus funciones (fallas funcionales), detectar las causas (modos de fallas) que provocan las fallas funcionales, evaluar los modos de fallas y las causas asociadas a ellas, determinar las consecuencias de las fallas en el desempeño del sistema e identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial (p. 181).

Es de ahí, donde radica la importancia de utilizar el AMEF como un procedimiento de gran utilidad para aumentar la fiabilidad, mejorar la calidad mediante la obtención de niveles óptimos del sistema o proceso, buscar soluciones a los problemas que puedan surgir, clasificando la criticidad del riesgo y decidiendo qué acciones tomar al respecto. Cabe destacar que la eliminación de las fallas representa ahorros de costos de reparaciones y tiempo de paradas, como también, se relaciona con la satisfacción del cliente con el producto y con su percepción de la calidad.

Ahora bien, la empresa caso de estudio, manufacturera de alambres de acero para la obtención de productos galvanizados, satisface a diversos sectores, tanto el de construcción, como agropecuario e industrial, y en su constante búsqueda de la excelencia, está orientada a propiciar las condiciones para un crecimiento económico sostenido, que permita estimular y fortalecer la producción nacional para impulsar el bienestar social. De esta manera, apuesta por ofrecer en el mercado la mejor opción de alambres galvanizados, para llegar a ser la operación de manufactura líder en satisfacción de los clientes.

Así pues, la empresa, sumergida en el continuo cambio y en las exigencias del mercado, ha logrado obtener y mantener en los últimos años, la importante y reconocida certificación ISO 9001, lo que le ha permitido en su enfoque de satisfacción total de sus clientes comprometerse con el cumplimiento de sus requisitos y con la mejora continua de la eficacia del sistema de gestión de la calidad. No obstante, está incidiendo en la falta del cumplimiento de especificaciones de normativas estipulada dentro del sistema de gestión de la calidad ISO 9001. De este modo, requiere de la eliminación de actividades que no agreguen valor y de reducción de las variabilidades de los procesos.

Pues bien, en el proceso de inspección llevado a cabo por el Departamento de Calidad se determina y verifica la masa del recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados según la Norma Venezolana COVENIN 851, la cual estipula que los alambres "... tendrán un recubrimiento de cinc (sic) continuo y uniforme..." (p.2.), y también establece la cantidad de masa mínima necesaria para los distintos diámetros nominales de los alambres.

Actualmente, los resultados de estas determinaciones arrojan casos recurrentes de alambres galvanizados con una masa por debajo de la masa mínima necesaria, es decir, no están cumpliendo con los requisitos de la norma, generando inmediatamente el rechazo del producto en las verificaciones por parte del Departamento de Calidad, y en consecuencia imposibilita su uso hasta que se tomen acciones correctivas. A continuación, se muestra en el gráfico 1, la cantidad en porcentaje de ensayos aprobados en la determinación de la masa del recubrimiento de zinc desde agosto 2016 a marzo 2017.

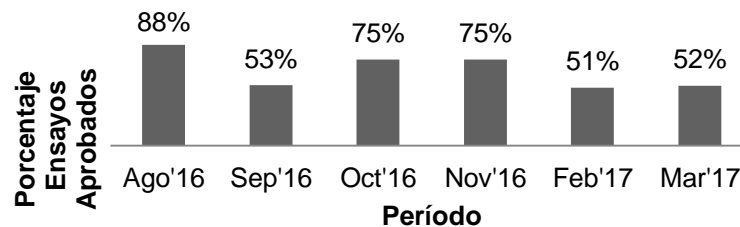


Gráfico 1. Ensayos aprobados en la determinación de recubrimiento de zinc de alambres galvanizados. Fuente: Colmenares, datos ofrecidos por el Departamento de Calidad (2017)

Se evidencia mediante el gráfico que, en los resultados de los ensayos del recubrimiento de zinc realizados a los alambres galvanizados, estos presentan variación en cuanto a su aprobación por lo que, los alambres

galvanizados fuera de especificación originan mensualmente el levantamiento de no conformidades al Departamento de Producción por incumplimiento de la Norma Venezolana COVENIN 851, lo que se convierte en retrabajos en la línea de galvanizado con pérdida de tiempo de hasta dos punto seis (2,6) horas por día, reprogramación en la planificación de la producción para evitar retrasos en la entrega del producto, generación de concesiones del producto, lo que pudiera ocasionar a futuro, quejas y posibles reclamos de los clientes, y peor aún, pérdida de confianza para con la empresa.

De igual manera, es importante señalar que, en las verificaciones realizadas de la determinación del recubrimiento de zinc una vez reprocesado el material, se han obtenido resultados con valores de masa por encima de la requerida, siendo ésta una masa hasta del setenta por ciento (70%) de lo estipulado en norma. En tal sentido, dichos alambres no deben ocasionar ningún problema con el cliente porque el extra en el recubrimiento genera una mayor protección frente al ambiente, la corrosión, el problema en este caso corresponde a un consumo en exceso de zinc lo cual puede ocasionar pérdidas de dicho material, consideración que actualmente no se encuentra contabilizada.

En base a lo expuesto, se hace necesario que la organización tome acciones para eliminar las no conformidades presentes y mejorar la calidad del recubrimiento del alambre con el fin de corregir la ocurrencia y cumplir con los requerimientos internos, como también, optimizar el consumo de zinc. La aplicación de herramientas eficaces permitirá detectar y dar a conocer las posibles causas de las variaciones para posteriormente poder solucionar cualquier tipo de problema y evitar su repetitividad.

Formulación del Problema

Por consiguiente, y en búsqueda de mejorar la producción en cuanto a la calidad del producto galvanizado de una empresa manufacturera de alambre de acero se formulan las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son las condiciones actuales de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado?,

¿Cómo es la calidad del producto dentro del proceso productivo midiendo la eficiencia del proceso, utilizando el método defectos por millón de oportunidades o DPMO?,

¿Cuáles son las causas que originan variaciones de calidad en el proceso de recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas?,

¿Qué elementos conforman el plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc con fundamento en el control y reducción de fallas en una línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo?

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Proponer un plan de mejoras en el proceso de galvanizado con fundamento en el control y reducción de fallas que repercuta en la calidad del

recubrimiento de zinc de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo.

Objetivos específicos

Diagnosticar las condiciones actuales de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado de alambres.

Evaluar la calidad del producto dentro del proceso productivo, midiendo la eficiencia del proceso, utilizando el método defectos por millón de oportunidades o DPMO.

Determinar las causas que originan variaciones de calidad en el proceso de recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas.

Diseñar el plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc con fundamento en el control y reducción de fallas en una línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo.

Justificación de la investigación

El fortalecimiento del proceso de galvanizado en cuanto a la identificación de las causas que originan la variabilidad considerando un menor recubrimiento de zinc y una posterior propuesta de mejoras que permitan obtener así un control en el mismo es fundamental y necesario para evitar posibles quejas o reclamos por insatisfacción de los clientes debido a una baja calidad del producto ofrecido.

Desde el punto de vista institucional, proporcionará en primera instancia, información relevante y sustentada en un estudio, que le permita luego evaluar y establecer un plan de acción con la finalidad de realizar correctivos sobre la base de las causas que se identifiquen y por consiguiente, una vez atacada dichas causas permitirá controlar el proceso y poder tomar decisiones en cuanto al establecimiento de la estructura de costo del producto galvanizado en base al consumo real del zinc, ayudando de esta manera a evitar la pérdida del mismo, el cual, es crítico, costoso y difícil de reponer, ya que se obtiene netamente mediante la importación. Y en segunda instancia, permitirá prevenir reclamos e inconformidades de los clientes, evitando así una pérdida de confianza en el producto y mala reputación para la empresa.

Por otro lado, será de gran aporte para el Departamento de Calidad debido a que, hasta el presente, no se ha realizado ningún estudio mediante la aplicación de herramientas o investigaciones académicas que permitan la solución de problemas y la mejora continua, dejando así asentadas las bases para posteriores estudios.

Lo antes expuesto, agrega valor a la organización y se considera como parte esencial del mejoramiento continuo, a la generación de respuesta activa ante situaciones de riesgos y retos presentados, a establecer estrategias que le permitan seguir siendo sólida y rentable en el tiempo y seguir orientada a su visión de transformar y ofrecer la mejor opción de productos derivados del alambro de acero, para llegar a ser la operación de manufactura líder en satisfacción de los clientes.

Finalmente, desde la perspectiva académica, la investigación se ubica dentro de la línea de investigación de Control de Calidad y la misma es

realizada en el marco de las exigencias académicas de la Universidad de Carabobo para optar al título de Magíster en Ingeniería Industrial. Asimismo, permitirá a la autora, poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la maestría, contribuyendo con la formación como profesional.

Alcance

La investigación establece sólo realizar la propuesta de un plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc con fundamento en el control y reducción de fallas en una línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo dejando su implementación a consideración de la empresa.

Limitaciones

En el desarrollo de la investigación se consideran como limitantes, el tiempo de respuesta del personal del Departamento de Producción y de Calidad en suministrar y generar información y data necesaria de corridas de producción, por ser ésta la fuente principal para el desarrollo. Como también, la difusión completa de la información referente al proceso, por lo que implicará solicitar permisos y realizar versiones para poder transmitirla.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Un aspecto fundamental en el desarrollo de una investigación es el marco teórico, que según Cabrejos (2014) es "... un conjunto de ideas que permite organizar los datos de la realidad para lograr que de ellos puedan desprenderse nuevos conocimientos. Permite al investigador concebir con coherencia su problema original, ampliando teórico y metodológicamente sus hipótesis a demostrarse..." (p. 317), lo cual, orienta hacia la organización de hechos y datos significativos para relacionar el problema con los estudios ya existentes.

Antecedentes de la investigación

El apoyo en investigaciones de distintos autores en base a trabajos estudiados anteriormente permitirá una orientación más clara, soporte teórico y una guía de gran utilidad a lo largo del desarrollo del presente trabajo investigativo, tomando en cuenta los ajustes y las limitaciones encontradas las cuales serán adaptadas al problema actual.

Inicialmente, se presenta el trabajo de Zuluaga (2016) titulado "Aplicación de la metodología Six Sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa metalmecánica", fue realizado en la Universidad de Medellín - Colombia, para obtener el título de Magíster en Logística; la intención del estudio fue aplicar una metodología de mejora continua para identificar, analizar, proponer y reducir los costos de no calidad. El desarrollo

de la investigación comenzó con la documentación de los problemas más representativos de la compañía, donde el caso de estudio fue la variabilidad del proceso de galvanizado en caliente reflejada en el sobre-espesor de las piezas procesadas.

La investigación se adapta al diseño de campo de tipo explicativo, apoyado en la observación directa del proceso, en herramientas de análisis de datos y de capacidad del proceso, como también, en entrevistas a los colaboradores, para luego determinar las causas de la inestabilidad del proceso mediante Diagrama de Ishikawa y AMEF; y finalmente, proponer y aplicar un plan de acción. La conclusión del autor, arroja una reducción inicial de los sobrecostos del 63% y en la importancia de implementar una metodología clara, desde la búsqueda del problema principal hasta la ejecución y seguimiento del plan de acción.

El estudio de Zuluaga, es de gran aporte para la actual investigación, debido a que permitirá tener otro punto de vista sobre el fortalecimiento del proceso de galvanizado y otra perspectiva en cuanto a la aplicación de la metodología para el abordaje del problema; la identificación de las causas de la variabilidad del recubrimiento de zinc y en la elaboración de la matriz de efectos y fallas que permitan conseguir las posibles mejoras del mismo.

Seguidamente se encuentra a García (2016), en su investigación titulada “Plan de mejoramiento de la calidad a través del control y reducción de fallas en el área de terminados en Cepeda. Cía. Ltda”, fue realizado en la Universidad Técnica de Ambato – Ecuador, para obtener el título de Ingeniero Industrial en Procesos de Automatización; tuvo como finalidad realizar un plan de mejoramiento de la calidad, a través del control y reducción de fallas en la construcción de carrocerías para buses, el cual se

orienta a establecer acciones de mejoras al proceso y a su vez que afecten directamente al producto terminado, a partir de la aplicación de la metodología Análisis de Modo y Efectos de las Fallas (AMEF).

Dicho estudio fue presentado bajo la modalidad de una investigación de campo, donde la información recopilada fue mediante la observación directa, entrevistas con el personal del área de producción, administrativa y de atención al cliente; y la revisión de documentos y registros existentes relacionados con el mejoramiento de la calidad. La investigación se desarrolló en la carrocería Silver Plus, donde se sintetizaron los casos de baja calidad del mismo para luego analizar en qué actividad del proceso productivo se genera el modo de fallo potencial. Los resultados obtenidos del nivel de eficiencia global del proceso fueron del 51,67%, reflejando un rendimiento medio del mismo. Por medio del análisis de los parámetros obtenidos por modo de fallo potencial, como NPR o IPR, DPMO, nivel sigma, carta de control C, concluyó que hay valores que indican que el proceso es estable estadísticamente, pero existen muchos defectos cerca de la línea de los límites de control, por lo que finalmente desarrolló una serie de acciones de mejora para el proceso.

El aporte de García para la presente investigación, radica en el hecho que permitirá tener una orientación más clara tanto en la forma en que logro relacionar las variables, como en la aplicación de la metodología del Análisis de modo y efectos de fallas (AMEF) y también en la determinación técnica de la calidad del proceso productivo, lo que permitirá la evaluación de la eficiencia del proceso por medio del método defectos por millón de oportunidades.

Por otro lado, Guillén (2015), en su investigación titulada “Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento”, realizada en la Universidad de Carabobo – Venezuela, para obtener el título de Magíster en Ingeniería Industrial; cuyo objetivo fue proponer mejoras que conduzcan a optimizar la efectividad global de los equipos (OEE), maximizando la confiabilidad del proceso productivo de la unidad II por ser la de mayor exigencia de calidad.

El tipo de la investigación fue de campo, de nivel explicativo basado en el método analítico-deductivo. Para el caso en estudio, realizó un análisis jerárquico de criticidad, tomando todos los equipos que conforman la unidad II, para así seleccionar el equipo más crítico del proceso, resultando ser el reactor u2, y luego analizar los modos y efectos de fallas del mismo, donde los datos fueron tomados de registros históricos pertenecientes a la gestión de mantenimiento. Finalmente, con su estudio, logró una propuesta para el reactor; basada en un conjunto de estrategias de mejora de gestión de mantenimiento, que comprenden planes preventivos de calibración e inspección, su frecuencia y personal responsable, lo que conduce a optimizar la efectividad global de los equipos para maximizar así la confiabilidad del proceso productivo de una unidad II.

La investigación de Guillén, aporta una visión más clara de cómo se desarrolla, aplica e implementa la metodología del análisis de modo y efecto de fallas; la comprensión del método para la identificación, caracterización y asignación de prioridades a las faltas potenciales del proceso.

Por su parte, Ramírez (2014), desarrolló un estudio denominado “Propuesta de mejoras para reducir el consumo de zinc en la línea de galvanizado # 01 de la empresa Vicson S.A.”, el cual se llevó a cabo en la

Universidad de Carabobo - Venezuela, para obtener el título de Magíster en Ingeniería Industrial. El alcance de la investigación se orientó en aplicar una combinación de herramientas de Seis Sigma y Manufactura Esbelta en una línea de galvanizado, para así proponer una serie de mejoras que aseguraran la disminución del consumo de zinc en la línea antes mencionada.

Dicho trabajo, fue una investigación de campo, de tipo descriptivo, de carácter documental o bibliográfico. La unidad de análisis fue la línea galvanizado # 01 del área de líneas continuas y las técnicas utilizadas para la recolección de información fueron basadas en entrevistas no estructuradas, diagramas de procesos y revisión bibliográficas. El análisis de la información fue mediante datos cuantificados provenientes de herramientas enfocadas Seis Sigma Esbelta. Finalmente, el autor logró diseñar propuestas con el propósito de reducir la capa de zinc de $246,92 \text{ g/m}^2$ a valores de 245 g/m^2 para así disminuir el consumo de zinc de 38,4 a valores por debajo de 33,1 kilogramos por toneladas producidas, y poder incrementar la producción de alambre galvanizado de esta manera a un 2%.

Referente al trabajo mencionado, es de gran utilidad debido a que contribuye a comprender la elaboración de los instrumentos de recolección de datos para conocer las causas de la variación de la capa de zinc, así como también analizar los resultados obtenidos para así diseñar el plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc.

Otro aporte destacable, referente a la metodología aplicada, publicado en la Revista Expresión Tecnológica, del Instituto Universitario de Tecnología de Cabimas – Venezuela, es el de Guirigay y LLanes (2012), donde desarrollaron una investigación titulada “Implementación del método análisis

y efecto de fallas (AMEF) al proceso de obtención de agua destilada en el laboratorio de control de proceso del Instituto Universitario de Tecnología de Cabimas (IUTC)”, la cual tiene como objetivo exponer la realización de un proceso sistemático para la identificación, realización y clasificación de fallas potenciales en el proceso de destilación de agua, para aumentar la confiabilidad, mejorar la calidad y buscar soluciones a los problemas que puedan presentar los instrumentos, unidades y procesos de destilación.

En el artículo, se realiza una descripción del proceso de obtención de agua destilada del laboratorio, para luego aplicar el método AMEF a dicho proceso, donde se determinó mediante la recolección de datos y la aplicación de análisis estadísticos, que las fallas de mayor severidad se presentaban en el tanque 6 y en el calentador de agua. Finalmente, con la determinación de los dos puntos más críticos del proceso, se logró proponer y realizar modificaciones al proceso de destilación para obtener una mejor calidad del producto final, logrando minimizar en un 80% las fallas.

Este trabajo, aporta una perspectiva más amplia de cómo se aplica el AMEF en cualquier tipo de proceso e indistintamente se obtiene una identificación de problemas potenciales, lo cual orientará al proceso de la asignación de prioridades a las fallas identificadas del proceso.

Bases Teóricas

De acuerdo con Arias (2012), expone que “las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado” (p. 107). De ahí que, se hace necesario el planteamiento de los principios teóricos que proporcionan la base a los trabajos de investigación.

Calidad

Según Juran (1990) sostiene que la “Calidad es que un producto sea adecuado para su uso. Así, la calidad consiste en la ausencia de deficiencias en aquellas características que satisfacen al cliente” (p. 5), por su parte Cuatrecasas (2010) la describe como “conjunto de características que posee un producto o servicio, así como su capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario” (p. 17). Por otro lado, en la norma ISO 9000:2005 define la calidad como “grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos” (p. 8); donde por requisito se entiende como “necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria” (p. 8), según la misma norma.

En efecto, la calidad está relacionada con la satisfacción del cliente; a las expectativas y necesidades cubiertas de acuerdo al producto o servicio, por lo que es descrita como satisfacción del cliente por la norma ISO 9000:2005 como “percepción del cliente sobre el grado en que se han cumplido sus requisitos” (p. 8).

En este mismo orden de idea, la competitividad es definida según Monterroso (2016) como “...un término que indica la posición de una empresa en relación a las otras, asociándose entonces a la permanencia en el mercado y a la generación de valor para el cliente” (p. 5) por lo que ésta asociada conjuntamente con la satisfacción del cliente; la cual según Gutiérrez y De la Vara (2009) es derivada por tres factores; la calidad del producto, el precio y la calidad del servicios, siendo una empresa más competitiva cuando ofrece mejor calidad con un buen servicio a un bajo costo. En la figura 1, se muestran los componentes de los factores de competitividad.

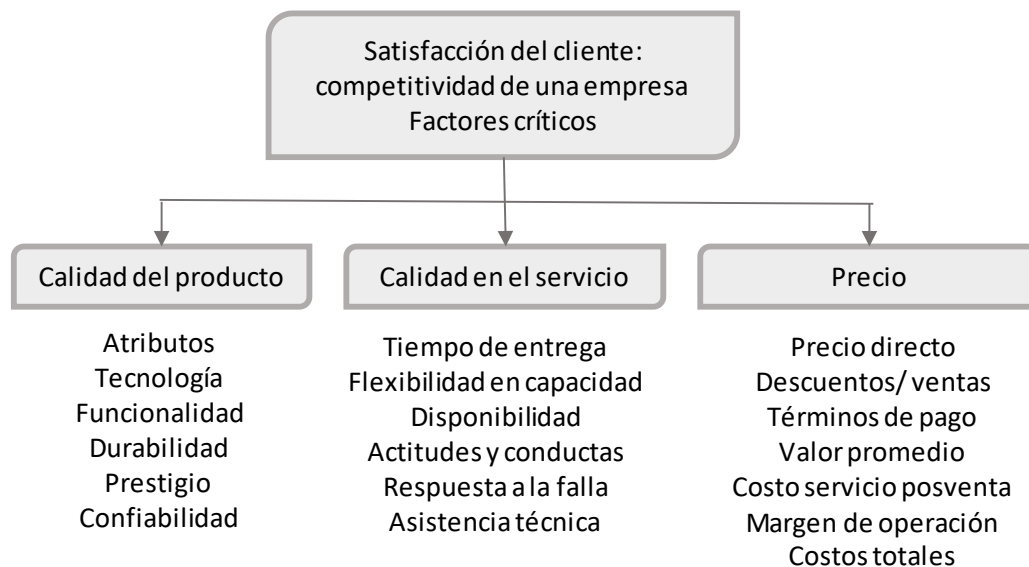


Figura 1. Factores de la competitividad. Fuente: Gutiérrez y De la Vara (2009) (p. 5)

Sin embargo, la competitividad se ve afectada por las fallas y deficiencias en los procesos, generando reprocesos, desperdicios, retrasos, paros, inspecciones excesivas, clientes insatisfechos y pérdidas de ventas, disminuyendo de tal manera la productividad y la eficiencia. La productividad según Koontz H, Weihrich H y Cannice Mark (2012) "...cabe definirla como el cociente producción-insumos dentro de un periodo, considerando la calidad..." (p. 14). Por su parte, el mismo autor también define eficiencia como "Logro de los fines con el mínimo de recursos" (p. 14).

Defectos por millón de oportunidades o DPMO

La calidad Seis Sigma o los procesos Seis Sigma se refieren a un concepto que plantea una aspiración o meta común de calidad para todos los

procesos de una organización. Herrera y Fontalvo (2011) la definen como “... una herramienta de mejoramiento que permite obtener organizaciones eficaces y eficientes, continuamente alineadas con las necesidades de los clientes” (p. 2).

Para evaluar la capacidad de un proceso, Gutiérrez y De la Vara (2009) establecen que “consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada, ya que esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones)” (p. 100). Asimismo, para evaluar la calidad de un producto dentro de un proceso productivo, resulta de gran ayuda el método defectos por millón de oportunidades o DPMO, el cual los mismos autores lo definen como “métrica Seis Sigma para procesos de atributos que cuantifica defectos esperados en un millón de oportunidades de error” (p. 114) y se obtiene mediante la fórmula

$$DPMO = DPO \times 1.000.000$$

Donde, **DPO**: Se refiere a los defectos por oportunidad o DPO, mide la no calidad de un proceso y es por ello que, Pérez, Peláez y Carrión (2007) expresan que “toma el número de defectos que se obtienen del proceso, sobre las oportunidades que son propensas de fallar durante el proceso de producción” (p. 10) y se obtiene a través de la fórmula:

$$DPO = \frac{d}{U \times O}$$

Donde, **d**: Se refiere a defectos,

U: Es el número de unidades inspeccionadas en las cuales se observan los defectos, y

O: Es el número de oportunidades de error por unidad.

Es por ello que, desde un punto de vista estadístico según Salazar (2016), Seis Sigma es una métrica que permite medir y describir un proceso, producto o servicio con una extremadamente alta capacidad de proceso. Six sigma significa "seis desviaciones estándar de la media", lo cual se traduce matemáticamente a menos de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). Para el establecimiento del nivel sigma y la eficiencia de la calidad en el proceso productivo se muestra a continuación el cuadro 1 donde se evidencia la conversión del rendimiento DPMO al nivel Sigma.

Cuadro 1. Medida del Nivel Sigma

Rendimiento	Nivel del Sigma	DPMO
6.680	0.00	933200
8.455	0.13	915450
10.56	0.25	894400
13.03	0.38	869700
15.87	0.50	841345
19.08	0.63	809200
22.66	0.75	773400
26.59	0.88	734050
30.85	1.00	691462
34.50	1.10	655422
38.20	1.20	617911
42.10	1.30	579260

Fuente: Herrera y Fontalvo (2011) (p. 20).

Cuadro 1. Medida del Nivel Sigma (Cont.)

Rendimiento	Nivel del Sigma	DPMO
46.00	1.40	539828
50.00	1.50	500000
69.10	2.00	308538
84.10	2.50	158655
93.30	3.00	66807
94.79	3.13	52100
95.99	3.25	40100
99.40	4.00	6210
99.98	5.00	233
99.99966	6.00	3.4

Fuente: Herrera y Fontalvo (2011) (p. 20).

Galvanizado en caliente

El Galvanizado en caliente se remonta a más de 150 años; cuando en los años 1836 y 1837 aparecen las primeras patentes en Francia e Inglaterra del proceso industrial para la protección del acero contra la corrosión. Ya por los años 50, en Venezuela, nacen en el país las primeras plantas de galvanizado en caliente y durante los años 80, se introduce un nuevo concepto de negocio; ofertas de galvanización de productos metálicos de hierro, según la Asociación Venezolana de Galvanizadores (AVGAL) (2010). Ahora bien, el galvanizado consiste en la formación de un revestimiento sobre la superficie del acero, al ser éste sumergido en un baño de zinc fundido. En tal efecto, AVGAL (2016) explica dicho recubrimiento como:

...producto de una reacción metalúrgica entre el acero base y el cinc fundido del baño. En dicha reacción los átomos de cinc forman aleación con los átomos de hierro en proporciones bien definidas por los compuestos intermetálicos propios de estos dos metales... (p. 1).

De modo que, mientras dicho proceso progresa, debe ocurrir la migración de los átomos de hierro hacia el baño para continuar las reacciones y hacer crecer la capa de revestimiento. “Este proceso tiene un límite definido por la difusión de los átomos hierro a través de la red cristalina sólida de las capas intermedias que van creciendo” (p. 1), explica AVGAL (2016). La película de zinc obtenida sobre el acero, lo protege de dos formas, la primera actúa como protección de barrera, mientras que la segunda como protección catódica, permitiendo ésta, que los productos de acero permanezcan sin corrosión durante décadas, debido a que en presencia de humedad el zinc actúa como ánodo y el acero como cátodo, de manera que el zinc se corroe en una acción de sacrificio y evita que el acero se oxide.

Etapas del proceso del galvanizado en caliente

Para American Galvanizers Association (2015), el proceso de galvanizado en caliente consta principalmente de tres aspectos; el primero consiste en la preparación previa, luego se produce el galvanizado y por último, la inspección de la superficie.

Preparación de la superficie: En cuanto a la preparación de la superficie, juega un papel muy importante al momento de aplicar cualquier revestimiento, por lo que, American Galvanizers Association (2015), sostiene que:

...En la mayoría de los casos, la preparación incorrecta o inadecuada de la superficie es la causa de que el revestimiento falle antes de terminar su vida útil prevista... el proceso de galvanizado, cuenta con sus propios medios incorporados de control de calidad porque el zinc no reacciona metalúrgicamente con una superficie de acero no limpia. Cualquier falla o deficiencia en la preparación de la superficie será notable de inmediato cuando se retire el acero del zinc fundido, ya que las áreas no limpias permanecerán sin revestir (p. 3).

Por tal motivo, es de suma relevancia la realización la aplicación de una preparación de la superficie del acero, fundamentándose en las siguientes etapas:

El desengrase, tiene como objetivo, la eliminación de aceites y grasas presentes en el acero proveniente de los diversos procedimientos mecánicos y etapas previas a los que el material haya sido sometido, según Rodríguez (2015). Para efectuar un desengrase adecuado, en algunos casos, se sumerge el material en soluciones alcalinas y en otros casos, se somete el mismo a agentes desengrasantes ácidos. En ambos casos, la temperatura de estas soluciones debe estar comprendida entre 30 y 40°C. Esta fase de limpieza previa es muy importante, dado que va a permitir la correcta acción de los baños posteriores. Seguidamente, debe existir, un enjuague en agua limpia para evitar el arrastre del líquido a la siguiente fase.

El decapado químico, se refiere a un tratamiento superficial el cual utiliza el ataque químico del ácido clorhídrico o sulfúrico, para obtener la eliminación del óxido presente en el material, de modo, que el mismo quede químicamente limpio. Los decapados en base ácido clorhídrico son los más usados, ya que operan a temperatura ambiente y tienen un menor impacto de contaminación en las etapas posteriores. Por lo que Rodríguez (2015) expresa:

Es imprescindible la adición de un aditivo que contenga inhibidor para que el ácido no disuelva el acero y lo hagan solamente los óxidos, y que además evite la emanación de neblina ácida e idealmente ayude en la limpieza adicional del metal.

Posterior al decapado, debe realizarse una limpieza en agua limpia para remover los residuos de cloruro de hierro y evitar así, que no lleguen a la siguiente fase de la preparación.

El *baño de sales o fluxado*, es una solución de cloruro de amonio y cloruro de zinc, la cual tiene dos propósitos según American Galvanizers Association (2015) "...elimina cualquier óxido restante y deposita una capa protectora en el acero para impedir que se formen más óxidos en la superficie antes del galvanizado" (p. 3). En otras palabras, permite una limpieza intensa de la superficie metálica y ayuda a formar una película fundente que protege la superficie del material, para evitar, que vuelva a oxidarse, lo que activa la superficie del acero y facilita su reacción con el zinc.

Es importante la realización de las etapas anteriores al fluxado para reducir la emisión de humos al ingresar el material en el baño, es por ello que Rodríguez (2015) indica "...la presencia de contaminantes en las operaciones previas al fluxado va a influir directamente en la calidad final de galvanizado, en las pérdidas de zinc durante el proceso y la generación de subproductos no deseados como cenizas y humos". De igual manera, el mismo autor indica que a lo largo del proceso de fluxado se forman contaminantes que son arrastrados a las siguientes etapas:

Durante el proceso del fluxado, es habitual la formación de hierro en forma de sales solubles que es arrastrado desde el decapado hasta el lavado posterior. Este compuesto se trata de un

contaminante muy crítico. Su efecto es la formación de escoria en la masa fundida de zinc, la cual aumenta el espesor de la capa de zinc y crea capas intermetálicas desiguales. Es por tanto muy importante mantener la concentración de hierro soluble por debajo de un 0,5%. Para conseguir este propósito se puede mantener una baja concentración de hierro en las etapas previas al fluxado ajustando el pH alrededor de 5 y filtrando la solución. En las plantas donde no existe horno de secado o precalentamiento es conveniente operar el prefluxado entre 55 y 75°C, esto ayudará a un secado más rápido.

Galvanizado: el segundo aspecto, es el galvanizado, el baño de zinc debe contener al menos el 98% de zinc puro y debe ser calentado aproximadamente a 449°C, según American Galvanizers Association (2015). Mientras está sumergido en el baño, el zinc reacciona con el hierro en el acero y forma una serie de capas intermetálicas (gamma, delta y zeta) de aleación zinc/hierro. En la figura 2, se muestra una fotomicrografía de la microestructura de un revestimiento galvanizado típico que consta de tres capas aleadas y una capa de zinc metálico puro.

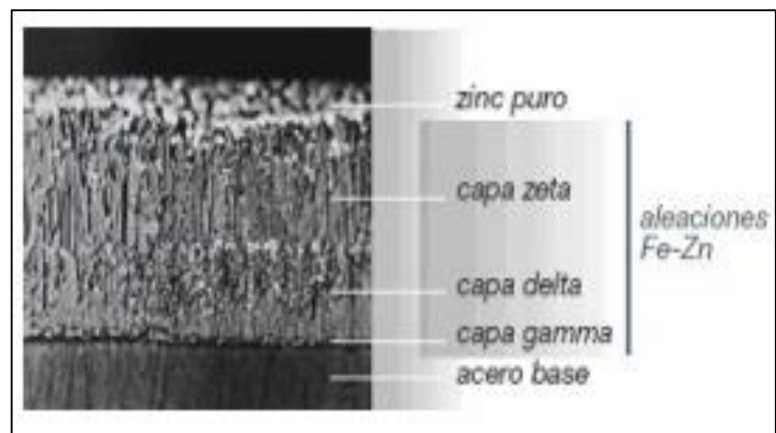


Figura 2. Microestructura de un revestimiento galvanizado. Fuente: Rodríguez (2015) (p. 8).

Una vez que se completa el crecimiento del revestimiento de los materiales fabricados, se retira del baño de galvanizado, y se elimina el exceso de zinc, para luego ser enfriados por inmersión en una solución de pasivación o agua o al dejarlos al aire libre.

Inspección de la superficie: Finalmente, en la inspección de la superficie del acero ya galvanizado, son verificadas dos propiedades del revestimiento, las cuales son el aspecto y el espesor del recubrimiento, éstas son realizadas pruebas físicas y de laboratorio. Según American Galvanizers Association (2015):

Los productos se galvanizan según los estándares aceptados y aprobados, establecidos hace tiempo... Estos estándares cubren todo, desde los mínimos espesores de revestimiento requeridos para varias categorías de artículos galvanizados hasta la composición del metal de zinc empleado en el proceso (p. 4).

Es por ello, la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) es un organismo encargado de programar y coordinar las actividades de Normalización y Calidad del país. La norma COVENIN 851:1996 establece las características mínimas que debe cumplir el alambre de acero de bajo carbono, para sus usos generales, en el cuadro 2, se muestra según dicha norma, la capa mínima del recubrimiento de zinc que deben tener los alambres según su diámetro. Por su parte, la norma COVENIN 565:2009, establece los métodos de ensayo (volumétricos, gravimétricos y magnéticos) para determinar la masa por unidad de superficie, la adherencia y la uniformidad del recubrimiento de zinc, sobre productos de acero, aplicado para láminas, alambres, tubos y otros productos de hierro.

Cuadro 2. Masa mínima de recubrimiento de zinc en alambres de bajo carbono.

Diámetro nominal d(mm)	Masa mínima g/m²
0,10 ≤ d ≤ 0,50	15
0,50 ≤ d ≤ 0,71	20
0,71 ≤ d ≤ 0,90	30
0,90 ≤ d ≤ 1,40	40
1,40 ≤ d ≤ 1,60	50
1,60 ≤ d ≤ 6,30	60

Fuente: Norma COVENIN 851:1996.

Análisis de los modos y efecto de falla

En el momento que se genera una falla en un proceso que contiene diferentes variables se debe aplicar un análisis minucioso para determinar su causa, pudiendo éstas ser por diseño inapropiado del proceso, deficiencias del material, producto fuera de especificación, inadecuado mantenimiento, entre otras. Una vez determinada las causas, deben tomarse medidas correctivas para prevenir futuras recurrencias.

En este sentido, el análisis de los modos y efectos de falla, AMEF o FMEA, por sus siglas en inglés, Failure Mode and Effects Analysis, según Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España (2004) es un método que "...es válido para cualquier tipo de proceso o situación, entendiendo que los procesos se encuentran en todos los ámbitos de la empresa, desde el diseño y montaje hasta la fabricación, comercialización y la propia organización en todas las áreas funcionales de la empresa" (p 1).

Así pues, Cuatrecasas (2010) define de la siguiente manera el análisis de los modos y efectos de falla:

...metodología que permite analizar la calidad, seguridad y/o fiabilidad del funcionamiento de un sistema, tratando de identificar los fallos potenciales que presenta su diseño y, por tanto, tratando de prevenir problemas futuros de calidad. ...también es aplicable a la mejora de productos ya existentes y, por otro lado, al proceso de fabricación, extendiéndose a cualquier tipo de proceso, de ahí que sea realmente una herramienta poderosa (p. 151).

Es por ello, que el principal interés del AMFE es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de defectos potenciales, si se aplica de manera sistemática por el equipo responsable. De allí, Chrysler LLC, Ford Motor Company y General Motors Corporation. (2008) sugieren que “el desarrollo del AMEF es responsabilidad de un equipo multidisciplinario (o multifuncional) cuyos miembros abarcan los conocimientos del tema necesario. Esto debiera incluir el conocimiento y experiencia en la facilitación del proceso del AMEF” (p. 9).

Por otro lado, Chrysler LLC y otros (2008), explican que “el alcance establece los límites del análisis del AMEF. Define lo que es incluido y excluido, y determinado en base al tipo de AMEF que está siendo desarrollado, ej., sistemas, subsistemas o componentes” (p. 10).

Tipos de AMEF

En el manual desarrollado por Chrysler LLC y otros (2008), establecen que “...el AMEF se aplica para fallas potenciales en el diseño del producto y

los procesos de manufactura, donde los beneficios son claros y potencialmente significativos” (p. 2). De este modo, se pueden distinguir dos tipos de AMFE según el marco de la gestión del proceso donde se inscriba; el AMEF de diseño, dirigido al diseño de nuevos productos, que para Chrysler LLC y otros (2008) determinan que:

El Análisis de Modos y Efectos de Fallas de Diseños, referido como AMEFDs, soporta el proceso de diseño en la reducción de fallas: ayudando en la evaluación objetiva del diseño... ofreciendo una referencia futura (ej., lecciones aprendidas) como ayuda para abordar aspectos clave de campo, evaluar cambios de diseño y desarrollar diseños avanzados (p. 16).

Por su parte, el AMEF de proceso, es dirigido al proceso de fabricación, es decir, a los medios de producción que se utilizan para asegurar su calidad de funcionamiento y, en cuanto de él dependa, la fiabilidad de las funciones del producto exigidos por el cliente. Asimismo, en la obra citada se indica que:

El AMEF de procesos, referido como AMEFP, soporta el desarrollo del proceso de manufactura en la reducción del riesgo de las fallas... identificando y evaluando las funciones y requerimientos del proceso... identificando las causas potenciales del proceso de manufactura o ensamble... permitiendo el establecimiento de un sistema de prioridades para acciones preventivas, correctivas y controles (p. 68).

De esta manera, en el manual el enfoque general es dirigido a los distintos tipos de AMEF, es decir, AMEF de diseños y AMEF de procesos, estableciendo el alcance del análisis de los mismos, la formación de equipos, el procedimiento básico para análisis, los planes de acción y seguimientos y el desarrollo de planes de control.

Procedimiento de elaboración de un AMEF

Para la elaboración de un AMEF, primeramente, debe estar constituido el equipo multidisciplinario, formado por todos los departamentos involucrados en el proceso, extendiendo el concepto de proceso a todo lo relacionado con el producto de fabricación o de servicios que acompañan al mismo. Según Bernal (2013), establece que lo ideal es que el grupo sea multidisciplinario y que incluya varios perfiles diferentes, consiguiendo así una visión amplia y con diferentes opiniones. Seguidamente, se procede a la elaboración de un diagrama donde aparecen todos los elementos posibles, a través de un método sistemático, contemplando en primer lugar el encabezamiento del formato AMEF con los datos correspondientes, como el proceso, especificación, fecha, responsable, entre otros.

Desarrollo de un AMEF de Procesos

Por su parte, Chrysler LLC y otros. (2008) establecen que, el formato presentado en el manual, “es una guía para documentar la discusión y análisis del equipo de los elementos del AMEFP. Contiene lo mínimo en contenido mismo que normalmente se espera por los OEMs” De la misma manera, describen que “el orden de las columnas puede ser modificado y pueden agregarse columnas a este formato dependiendo de las necesidades y expectativas de la organización y sus clientes. En cualquier caso, cualquier formato emitido debe ser aceptado por el cliente” (p. 75).

En cuanto al encabezado del análisis del AMEF de Procesos, especificado por Chrysler LLC y otros (2008), debería identificar el enfoque del AMEFP, así como la información relacionada con el desarrollo del documento y el proceso de control, conteniendo los siguientes elementos:

Número de AMEF: es el número del AMEF, se utiliza para identificar el documento del AMEFP.

Item: registra el nombre y número del sistema, subsistema o componente para el cual el proceso está siendo analizado.

Fecha del AMEF: es la fecha en la que se lleva a cabo la revisión pertinente del AMEF

Equipo Clave: lista los nombres de los individuos o cargos responsables de cada departamento los cuales deben ejecutar tareas.

Preparado por: registra el nombre y la información de contacto, incluyendo la organización (compañía), del ingeniero / líder del equipo responsable de la preparación del AMEF.

En cuanto, al cuerpo del análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) especificado por Chrysler LLC y otros. (2008), contiene el análisis de riesgos relacionados con las fallas potenciales y las acciones de mejoramiento o estrategias recomendadas para el equipo:

Paso / Función del proceso / Requerimiento: registra la identificación del paso del proceso u operación siendo analizado, como también, lista la función del proceso que corresponda a cada paso del proceso u operación siendo analizado, la función del proceso describe el propósito o intención de la operación. Por su parte los requerimientos son las entradas especificadas del proceso para cumplir con la intención del diseño y otros requerimientos de los clientes.

Modo de la falla potencial: es la manera en la cual el proceso podría fallar potencialmente para cumplir con los requerimientos del proceso. En otras palabras, lo que hace que el proceso deje de operar.

Efecto(s) potencial(es) de la(s) falla(s): son definidos como los efectos de los modos de fallas como son percibidos por el cliente interno o usuario final, en otras palabras, es el resultado de las fallas.

Severidad: es el valor asociado con el efecto más serio para un modo de falla dado. La severidad es un rango relativo que está dentro del alcance del AMEF individual. En el cuadro 3 se evidencia los criterios para la evaluación de la severidad.

Cuadro 3. Criterios sugeridos de evaluación de la severidad para AMEFP

Efecto	Criterios: Severidad del Efecto en el Producto (Efecto en el Cliente)	Rango	Efecto	Criterios: Severidad del Efecto en el Proceso (Efecto en la Manufactura/Ensamble)
Falla en el cumplimiento con Requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Modo de falla potencial, afecta la operación segura del vehículo y/o involucra algún incumplimiento con regulaciones gubernamentales sin advertencia	10	Falla en el cumplimiento con	Puede poner en peligro al operador (equipo o ensamble) sin advertencia
	Modo de falla potencial, afecta la operación segura del vehículo y/o involucra algún incumplimiento con regulaciones gubernamentales con advertencia	9	Requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Puede poner en peligro al operador (equipo o ensamble) con advertencia
Pérdida o degradación de la función primaria	Pérdida de alguna función primaria (vehículo inoperable, no afecta la operación segura del vehículo)	8	Interrupción mayor	Puede ser que el 100% del producto se deseche. Paro de línea o paro de envíos

Fuente: Chrysler LLC y otros. (2008) (p. 88).

Cuadro 3. Criterios sugeridos de evaluación de la severidad para AMEFP (Cont.)

Efecto	Criterios: Severidad del Efecto en el Producto (Efecto en el Cliente)	Rango	Efecto	Criterios: Severidad del Efecto en el Proceso (Efecto en la Manufactura/Ensamble)
Pérdida o degradación de la función primaria	Degradación de alguna función primaria (vehículo operable, pero con un nivel de desempeño reducido)	7	Interrupción significativa	Puede ser que una proporción de la corrida de producción se deseché. Desviación del proceso primario incluyendo un decremento en la velocidad de la línea o adición de mano de obra
	Pérdida de alguna función secundaria (vehículo operable, pero con funciones de confort/conveniencia inoperables)	6	Alteraciones moderadas	Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que retrabajarse fuera de la línea y ser aceptada
Pérdida o degradación de la función secundaria	Degradamiento de alguna función secundaria (vehículo operable, pero con funciones de confort/conveniencia con un nivel de desempeño reducido)	5		
	Apariencia o ruido audible, vehículo operable, ítem/artículo no genera el confort y es notado por la mayoría de los clientes (> 75%)	4	Interrupción moderada	Puede ser que el 100% de la corrida de producción tenga que retrabajarse en la estación, antes de ser procesada
Molestia o Inconformidad	Apariencia o ruido audible, vehículo operable, ítem/artículo no genera el confort y es notado por muchos clientes (50%)	3		
	Apariencia o ruido audible, vehículo operable, ítem/artículo no genera el confort y es notado por un mínimo de clientes (< 25%)	2	Interrupción menor	Leve o ligera inconveniencia al proceso, operación u operador
Sin efecto	Sin efecto discernible	1	Sin efecto	Sin efecto discernible

Fuente: Chrysler LLC y otros. (2008) (p. 88).

Causa(s) potencial(es) del modo de la falla: es definida como una indicación de cómo una falla podría ocurrir, y se describe en términos de algo que pudiera ser corregido o controlado. La causa potencial de una falla, puede

ser una indicación de debilidad de un diseño o proceso, y consecuencia del mismo es el modo de falla.

Ocurrencia: es la probabilidad de que alguna causa específica de falla ocurra. El número de rango de probabilidad de ocurrencia tiene un significado relativo más que un valor absoluto. En el cuadro 4 mostrado a continuación, se evidencia los criterios para la evaluación de la ocurrencia.

Cuadro 4. Criterios sugeridos para evaluación de ocurrencia en AMEFP

Probabilidad de Falla	Criterios: Ocurrencia de las Causas – AMEFPs (Incidentes por ítems/vehículos)	Rango
Muy alta	≥100 por mil ≥1 en 10	10
Alta	50 por mil 1 en 20	9
Alta	20 por mil 1 en 50	8
	10 por mil 1 en 100	7
Moderada	2 por mil 1 en 500	6
	.5 por mil 1 en 2.000	5
	.1 por mil 1 en 10.000	4
Baja	.01 por mil 1 en 100.000	3
	≤.001 por mil 1 en 1.000.000	2
Muy baja	La falla es eliminada a través de controles preventivos	1

Fuente: Chrysler LLC y otros. (2008) (p. 93).

Controles actuales del proceso: se reflejan todos los controles existentes en la actualidad para prevenir las causas de fallo y detectar el efecto resultante, es decir, son descripciones de los controles que previenen la ocurrencia del

posible modo de falla o que lo detectan si pudiese ocurrir. Existen dos tipos de control de procesos a considerar:

Prevención: eliminar (prevenir) las causas de la falla o el modo de la falla de que ocurran, o reducir su proporción de ocurrencia.

Detección: identificar (detectar) las causas de la falla o el modo de la falla, llevando al desarrollo de acciones correctivas asociadas.

Detección: es el rango asociado con el mejor control de detección. La puntuación de la detección está relacionada con el alcance del AMEF. A fin de lograr un menor rango, generalmente el plan de control de detección debe ser mejorado, en el cuadro 5 que se muestra a continuación, se evidencia los criterios para la evaluación de detección.

Cuadro 5. Criterios para la evaluación de detección en AMEFP

Oportunidad Para Detección	Criterios: Probabilidad de detección por el controles del proceso	Rango	Probabilidad de detección
Oportunidad de no detección	El actual control del proceso, no puede detectar o no es analizado	10	Casi imposible
Sin probabilidad de detección en ninguna etapa	El modo de efecto y falla, error (causa) no es fácilmente detectable. Ejemplo auditorias aleatorias.	9	Muy remoto
Detección del problema posterior al procesamiento	Modo de falla detectado por el operador, después del proceso, a través de medios, (visuales, táctiles, audibles)	8	Remoto
Detección del problema en la fuente	Detección del modo de falla en estación por el operador, a través de medios (visuales, táctiles, audibles), o detectado en el proceso siguiente a través del uso de galgas para atributos (pasa no pasa, torque manual, chequeos con rache.	7	Muy bajo

Fuente: Chrysler LLC y otros. (2008) (p. 100).

Cuadro 5. Criterios para la evaluación de detección en AMEFP (Cont.)

Oportunidad Para Detección	Criterios: Probabilidad de detección por el controles del proceso	Rango	Probabilidad de detección
Detección del problema posterior al procesamiento	Detección del modo de falla después del proceso por el operador, a través del uso de galgas de variables, o en la estación por el operador, a través del uso de galgas de atributos (pasa no pasa, torque manual, chequeos con rache)	6	Bajo
Detección del problema en la fuente	Detección del modo de falla o error, (causa) en la estación por el operador, a través del uso de galgas de variables, o por controles automáticos en la estación, que detectaran partes discrepantes y notifican al operador (luz, timbre, etc.). Chequeo realizado en la verificación de la primera pieza para establecer causas únicamente	5	Moderado
Detección del problema posterior al procesamiento	Detección del modo de falla, después del proceso, por controles automatizados, que detectaran partes discrepantes, con bloqueo de la parte, para prevenir siguientes procesos	4	Moderadamente alto
Detección del problema en la fuente	Detección del modo de falla en la estación, por controles automatizados, que detectaran partes discrepantes y automáticamente en la estación, bloquean la parte para prevenir siguientes procesos.	3	Alto
Detección del error y/o prevención del problema	Detección del error (causa) en la estación, por controles automatizados, que detectaran el error y previenen discrepancias en las partes que están siendo fabricadas.	2	Muy alto
Detección no aplicable, prevención de errores	Prevención del error (cause) como resultado del diseño del utillaje, diseño de máquina, o diseño de la parte. Las partes discrepantes, no pueden ser elaboradas, sistemas a prueba de error, proceso/producto.	1	Casi cierto

Fuente: Chrysler LLC y otros. (2008) (p. 100)

Número de prioridad en riesgos (NPR): es el producto de la probabilidad de ocurrencia, severidad, y detección, y debe ser calculado para todas las causas de fallo. Este valor es usado con el fin de priorizar la causa potencial de falla para posibles acciones correctivas. La ecuación definida por Chrysler LLC y otros (2008) es la siguiente:

NPR = Severidad (S) x Ocurrencia (O) x Detección (D)

Dentro del alcance del AMEF, este valor puede tener un rango entre 1 y 1.000

Acción(es) recomendada(s): la intención de cualquier acción recomendada es reducir los rangos en el siguiente orden: severidad, ocurrencia y detección. Para reducir el rango de severidad y de ocurrencia, pueden requerirse revisiones del diseño o proceso y para una reducción del rango de ocurrencia, puede ser afectada reiterando o controlando una o más de las causas de algún modo de falla a través de una revisión del diseño de producto o proceso. Cuando los modos de falla se han ordenado por NPR, se deberán emprender acciones para reducir o eliminar permanentemente la causa de la falla.

Responsabilidades y fechas meta de cumplimiento: concierne a los individuos y organización responsable de contemplar la acción recomendada incluyendo la fecha de cumplimiento de dicha acción.

Bases Legales

Es necesario que todo trabajo de investigación contenga un basamento legal que le permita estar acorde con las características de la sociedad en la que se realiza, lo cual permitirá sacar el máximo provecho al trabajo. En relación a este contexto, Palella y Martins (2014), expresa "la fundamentación legal o base legal se refiere a la normativa jurídica que sustenta el estudio. Desde la Carta Magna, las Leyes Orgánicas, las resoluciones decretos entre otros" (p.63).

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), en el Título III: de los deberes, derechos humanos y garantías, capítulo VII: de los derechos económicos, artículo 117, establece que:

Todas las personas tendrán derecho a disponer de bienes y servicios de calidad, así como a una información adecuada y no engañosa sobre el contenido y características de los productos y servicios que consumen, a la libertad de elección y a un trato equitativo y digno. La ley establecerá los mecanismos necesarios para garantizar esos derechos, las normas de control de calidad y cantidad de bienes y servicios, los procedimientos de defensa del público consumidor, el resarcimiento de los daños ocasionados y las sanciones correspondientes por la violación de estos derechos.

Ahora bien, la Ley Orgánica del Sistema Venezolano para la calidad (2002), en el Título I: disposiciones generales, capítulo II: de los deberes, derechos y garantías, artículo 6 establece que:

Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, están obligadas a proporcionar bienes y prestar servicios de calidad. Estos bienes y servicios deberán cumplir con las reglamentaciones técnicas que a tal efecto se dicten. En el caso de que dichos bienes o servicios estén basados en normas, según lo establecido en esta Ley, para el ámbito de desarrollo voluntario de sistemas de calidad, las no conformidades de cumplimiento con normas se podrán dirimir o decidir a través de fórmulas basadas en los procedimientos de Evaluación de la Conformidad entre las partes involucradas.

Con respecto a la solución de las no conformidades generadas, de quejas y reclamos, la organización debe velar por el cumplimiento de las características de calidad y garantizarlas, en el artículo 12 de la Ley Orgánica del Sistema Venezolano para la calidad (2002) del mismo Título I y capítulo II decreta que:

Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que suministren bienes y presten servicios, deberán indicar por escrito sus características de calidad y serán responsables de garantizarlas, a fin de demostrar el cumplimiento de dichas características ante cualquier usuario o consumidor, sin menoscabo de lo establecido por otros organismos públicos en esta materia. Así mismo, deberán establecer fórmulas expeditas para dilucidar, hasta su total solución, las quejas y reclamos de los usuarios o consumidores.

Definición de términos básicos

Acciones correctivas: Nunes (2012), lo define como acción implementada a eliminar las causas de una no conformidad, defecto o situación indeseable detectada con el fin de evitar su repetición.

Acciones preventivas: ISO 9000:2005, lo define como “acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencial no deseable” (p. 15)

Conformidad: ISO 9000:2005, lo define como “Cumplimiento de un requisito” (p. 14).

Eficacia: Koontz y otros (2012), lo definen como “Grado con el cual las actividades planeadas son realizadas y los resultados previstos son logrados” (p. 15).

Mejora de la calidad: ISO 9000:2005, lo define como “Parte de la gestión de la calidad orientada a aumentar la capacidad de cumplir con los requisitos de la calidad” (p. 10).

No conformidad: ISO 9000:2005, lo define como “Incumplimiento de un requisito” (p. 14).

Variabilidad: Carro y González (2012), lo definen como “proceso que ha salido de control produciendo fallas que sean asignables a algún problema determinado” (p. 1).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

De acuerdo con Lucero (2013), “la metodología constituye la médula del plan; se refiere a la descripción de las unidades de análisis o de investigación, las técnicas de observación y recolección de datos, los instrumentos, los procedimientos y las técnicas de análisis” (p. 139). Por consiguiente, el presente capítulo se enfoca tanto en describir el tipo, diseño, unidad de análisis de la investigación, como también, los procedimientos y técnicas que se empleó en el desarrollo del mismo.

Tipo de investigación

El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se realizó. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios. De ahí que, el presente estudio está sujeto en los lineamientos de una investigación de campo, la cual consiste según Palella y Martins, (2014) en:

La recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos sin manipular o controlar variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta y desenvuelve el hecho (p. 88).

Se trata, de que la información suministrada fue tomada directamente del caso de estudio, lo cual indica que no existirá ninguna manipulación de la

data recolectada en ese espacio de tiempo.

Diseño de la investigación

El diseño de investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. La investigación fue realizada bajo el enfoque de diseño no experimental, el cual, es definido por Palella y Martins, (2014) de la siguiente manera:

Es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos (p. 87).

En efecto, la investigación se desarrolló bajo este concepto debido a que se analizaron e interpretaron las variables del proceso de galvanizado para lograr cumplir con las metas planteadas a lo largo de la ejecución del proyecto, además, fueron observadas y analizadas las causas de las variaciones que repercuten en la calidad del recubrimiento de zinc de la empresa manufacturera de alambres y cuáles serían las posibles acciones para mejorar el proceso.

Nivel de la investigación

Para Palella y Martins, (2014) la investigación de nivel descriptivo tiene como objetivo la interpretación de las realidades de un hecho. De igual manera, explica que “El nivel descriptivo hace énfasis sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona

en el presente” (p. 92). Por su parte, Arias (2012) hace referencia “...este nivel de investigación consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento (...) mide (n) de forma independiente las variables” (p. 92). En tal sentido, el nivel considerado para la presente investigación es descriptivo, debido a que se realizaron revisiones documentales del departamento de producción y de calidad para determinar las causas de la variación del proceso de galvanizado; se realizó el análisis de modo y efecto de falla y luego se diseñó un plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc.

Unidad de análisis

Toda investigación debe delimitarse espacialmente, ya que de lo contrario se haría muy complejo el proceso. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), definen como “la unidad de análisis indica quiénes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a aplicar el instrumento de medición” (p. 183). De dicho concepto, se deduce que se debe definir, quiénes son las personas y que unidad tendrán una participación activa en la ejecución de la investigación. En este caso, el trabajo de investigación se llevó a cabo en la línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres, donde el personal y los equipos se muestran a continuación en el cuadro.

Cuadro 6. Unidad de análisis

Población	Coordinador de Calidad (1), Analista de Calidad (1), Coordinador de Producción (1), Coordinador de Mantenimiento (1) y Operadores (5).
Equipos	Horno de recocido (1), Tina de ácido clorhídrico (1), Tina de lavado (1), Tina de sales (1), Tina de zinc (1) y Tren de arrastre (2).

Fuente: Colmenares, (2018).

Técnicas e instrumentos para la recolección de información

Para el desarrollo de ésta investigación se empleó la recopilación documental, la data fue tomada del departamento de producción y de calidad con la finalidad de obtener información respecto a la cantidad de material galvanizado producido y de los ensayos aprobados y rechazados referentes a la capa de zinc, para diagnosticar las condiciones actuales tanto de producción como de calidad. De igual manera se utilizó para determinar las causas que originan variaciones de calidad respecto a la materia prima y los parámetros de proceso; y además para evaluar la calidad del producto por medio de la medición de la eficiencia del proceso a través de la utilización del método defectos por millón de oportunidades. En este sentido, Del Cid, Méndez y Sandoval (2011) explican que “estas técnicas se orientan a obtener información que otros han escrito sobre el tema estudiado” (p. 111).

Del mismo modo, la técnica de la encuesta la define Arias (2012) “como una técnica que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos acerca de sí mismos, o en relación con un tema en particular” (p 72). Ésta técnica, se utilizó en la presente investigación con el fin de recaudar información referente tanto del conocimiento del personal en el área productiva como también de la capacitación y experiencia en dicha área.

Asimismo, el cuestionario fue diseñado como instrumento para aplicar la encuesta, el cual según Hernández y otros (2014), “consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir” (p 217). El cuestionario diseñado (ver Anexo A) fue aplicado a una muestra seleccionada de cinco (5) operadores y se llevó a cabo mediante nueve (9) ítems los cuales constan de varias alternativas, con una escala de carácter

policotómica o escala de Likert, que va desde el rango uno (1) referido a nunca, dos (2) casi nunca, tres (3) a veces, cuatro (4) casi siempre hasta el rango cinco (5) siempre, como se señala a continuación:

Rango	5	4	3	2	1
Alternativa	Siempre	Casi Siempre	A veces	Casi nunca	Nunca

Figura 3. Escala de Likert. Fuente: Hernández y otros (2014).

Validez del instrumento

Según Hernández y otros (2014), la validez del instrumento se refiere al “grado en que un instrumento en verdad mide la variable que se busca medir” (p. 200). Es por ello, que el cuestionario aplicado fue validado por distintos tipos de evidencias, tales como; de contenido, se establece mediante la operacionalización de las variables, obteniéndose las dimensiones que caracterizan a las variables en relación a los objetivos que orientan el estudio.

De experto, debido a que se llevó a cabo mediante la evaluación y juicio de tres personas que conocen el tema, donde emitieron un documento chequeando cada uno de los ítems del cuestionario referidos al conocimiento, capacitación y experiencia del personal operador de acuerdo a las categorías de excelente, bueno, regular y deficiente, además de presentar observaciones (Ver Anexo B); y de construcción, por cuanto el instrumento consta de un conjunto de ítems cuyo contenido deriva de las teorías que sustenta el estudio.

Confiabilidad del instrumento

En base a la confiabilidad del instrumento de medición, Hernández y otros (2014), lo establecen como “Grado en que un instrumento produce resultados consistentes y coherentes” (p. 200). En relación a lo anterior, la medición de la confiabilidad se calculó por medio del coeficiente de Alfa Cronbach para el cuestionario aplicado a los operadores de producción, a través de la siguiente expresión estadística:

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_{total}^2} \right]$$

Donde, α : Coeficiente de Alfa Cronbach

k : Cantidad de ítems que contiene el instrumento

S_i^2 : Varianza del ítem

S_{total}^2 : Varianza de los valores totales observados

En base a los criterios de confiabilidad que indican que si “ α ” se encuentra entre 0,81 a 1,00 se tiene una correlación positiva muy alta, entre 0,61 a 0,80 la correlación positiva es alta, entre 0,41 a 0,60 la correlación es moderada, entre 0,21 a 0,40 correlación baja y entre 0,01 a 0,20 correlación muy baja; se obtuvo que dicho coeficiente fue de 0,86 para el cuestionario aplicado a los operadores (Ver Anexo C), lo que indica de esta manera que se tiene una muy alta confiabilidad.

Técnicas de procesamiento y análisis de la información

Una vez recopilada la información es importante la selección de la forma en que se procesaran los datos acumulados en los instrumentos

utilizados. Al respecto, Del Cid y otros (2011) expresan “La forma como se presentan los resultados de una investigación de campo varía atendiendo a factores... El tratamiento modifica dependiendo del tipo de información que se está procesando, si es cuantitativa o cualitativa” (p. 145).

Para el desarrollo de la investigación, se analizó la información de manera cuantitativa, con data recolectada perteneciente a la producción y de calidad del revestimiento de zinc, información sobre la materia prima y del proceso productivo, mediante métodos estadísticos y cálculos numéricos, como también por medio de cuadros y gráficos, además de la realización del cálculo del método defectos por millón, aplicación del cuestionario al personal de producción, análisis de modos y efectos de fallas y empleo de diagrama de Pareto.

Fases de la investigación

Fase I. Diagnóstico de las condiciones actuales de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado de alambres

En primera instancia, se realizó la recopilación documental en el Departamento de Producción y el Departamento de Calidad, con el fin de recaudar información referente a las cantidades producidas, a los distintos tipos de alambres procesados, a la totalidad de los ensayos concernientes a la capa de zinc realizados a dicha producción, como también a las inspecciones realizadas a la materia prima utilizada y a los parámetros empleados en el proceso. De igual modo, se aplicó una encuesta por medio de un cuestionario al personal de producción para evaluar su conocimiento, capacitación y experiencia en el área productiva, para así, determinar las

condiciones actuales del proceso del recubrimiento de zinc en la línea de galvanizado.

Fase II. Evaluación de la calidad del producto dentro del proceso productivo, midiendo la eficiencia del proceso, utilizando el método defectos por millón de oportunidades o DPMO.

Para medir la eficiencia del proceso se evaluó la calidad del producto dentro del proceso productivo, por medio de la recopilación documental, tanto de la cantidad de ensayos realizados al alambre galvanizado, como también con los ensayos rechazados, seguidamente se realizaron los cálculos de los defectos por oportunidad (DPO) mediante la fórmula:

$$DPO = \frac{\text{Número de defectos (rechazos)}}{\text{Número de muestras} \times \text{Número de oportunidades de error por muestra}}$$

y el cálculo del DPMO mediante la ecuación:

$$DPMO = DPO \times 1.000.000$$

Finalmente se obtuvo así, la cantidad de defectos en un millón de oportunidades de error al producir cantidades específicas de alambre, lo que permitió determinar el nivel sigma del proceso de recubrimiento de zinc para luego relacionarlo con la medida de los niveles sigma y de esta manera se conoció que tan buena es la calidad del producto, y a su vez, la eficiencia del proceso.

Fase III. Determinación de las causas que originan variaciones de calidad en el proceso de recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas.

En esta etapa, se procedió a realizar reuniones donde se contó con la participación de un equipo multidisciplinario conformado por el Coordinador de Calidad, Analista de Calidad, Coordinador de Producción y el Coordinador de Mantenimiento y se describieron todas las actividades para la realización del AMEF enfocado al proceso, las cuales están enumeradas entre corchetes.

Inicialmente fue definido tanto la función del proceso [1] como el requerimiento [2], seguidamente se identificó el modo de falla potencial [3] y los posibles efectos de cómo son percibidos por los clientes [4] y se determinó la severidad [5]. También, se revisó toda la información levantada en el diagnóstico actual, identificándose de esta manera las posibles causas de la falla potencial [6] y luego se determinó el valor de la ocurrencia [7]. De igual manera, se identificaron los controles existentes aplicados en el proceso [8] y se determinó el valor de detección [9].

Asimismo, se calculó el número de prioridad en riegos para cada una de las causas del modo de falla potencia [10] mediante la fórmula:

$$\mathbf{NPR [10] = Severidad [5] \times Ocurrencia [7] \times Detección [9]}$$

y se realizó la matriz del análisis de modos y efectos de falla enfocado al proceso de galvanizado. En la figura 4 se muestra un ejemplo del formato utilizado en el AMEF identificado con números entre corchetes que corresponden a la información que se anotó en cada parte del formato.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES
(AMEF DE PROCESOS)

ITEM: _____ NÚMERO DE AMEF: _____
 EQUIPO: _____ PÁGINA: _____
 CENTRAL: _____ PREPARADO POR: _____
 FECHA DEL AMEF: _____

FUNCIÓN DEL PROCESO	REQUERIMIENTO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CAUSA DE LA FALLA POTENCIAL	OCURENCIA	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PARA LA DETECCIÓN	DETECCIÓN	N/P/R	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLES	RESULTADOS ACCIONES
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]			

Figura 4. Ejemplo de formato AMEF para proceso con número de actividades. Fuente: Colmenares (2018).

Finalmente, con la información obtenida de dicha matriz se aplicó el diagrama de Pareto y se determinó la prioridad de las causas detectadas que inciden en el problema de estudio.

Fase IV. Diseño del plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc con fundamento en el control y reducción de fallas en una línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo

Una vez realizado el estudio previo, fueron definidas y presentadas las propuestas de mejoras que repercutirán en la calidad del recubrimiento de zinc de la empresa manufacturera de alambres, mediante la utilización de la herramienta 5W + 2W permitiendo una visión integral de todas las fases involucradas, seguidamente se describió cada una de las propuestas mediante modelos de formatos de control y por último se analizó la

rentabilidad de la implementación de las propuestas mediante métodos de evaluación de proyecto y de la relación costo beneficio.

Operacionalización de las Variables

La operacionalización de las variables, según Arias (2012) explica que “se emplea en investigación científica para designar al proceso mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles, es decir, dimensiones e indicadores” (p. 62). Para el caso de la presente investigación, se elaboró el cuadro de variables, dimensiones e indicadores, identificados a través de los objetivos del estudio, el cual se presenta a continuación:

Cuadro 7. Operacionalización de las Variables

Objetivo General: Proponer un plan de mejoras en el proceso de galvanizado con fundamento en el control y reducción de fallas que repercuta en la calidad del recubrimiento de zinc de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo.

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DEFINICIÓN DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA/ INSTRUMENTO	ÍTEMS
Diagnosticar las condiciones actuales de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado de alambres.	Condiciones actuales de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc	Operación que consiste en sumergir productos de acero en un baño de zinc fundido	Producción	Cantidad realizada	Recopilación documental (Hoja de recogida de datos)	N/A
			Calidad	Ensayo de recubrimiento de la masa de zinc		
			Materia prima	Alambre Trefilado	Recopilación documental (Hoja de recogida de datos)	N/A
				Zinc		
			Proceso	Parámetros	Recopilación documental (Hoja de recogida de datos)	
			Mano de obra	Conocimiento	Encuesta (Cuestionario)	1, 2, 3
Capacitación	4, 5, 6					
Experiencia	7, 8, 9					
Evaluar la calidad del producto dentro del proceso productivo, midiendo la eficiencia del proceso, utilizando el método defectos por millón de oportunidades o DPMO.	Eficiencia del proceso	Capacidad del proceso para realizar o cumplir una función	Proceso	Ensayos realizados y ensayos rechazados	Recopilación documental (Hoja de recogida de datos)	N/A

Fuente: Colmenares, (2018).

Cuadro 7. Operacionalización de las Variables (Cont.)

Objetivo General: Proponer un plan de mejoras en el proceso de galvanizado con fundamento en el control y reducción de fallas que repercuta en la calidad del recubrimiento de zinc de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo.

55

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DEFINICIÓN DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA/ INSTRUMENTO	ÍTEMS
Determinar las causas que originan variaciones de calidad en el de recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas proceso.	Causas que originan variaciones de calidad	Motivo por el cual se debe a que ocurra algún cambio o alteración de la calidad en el recubrimiento de zinc	Fallas potenciales del proceso	Identificación de la manera en la que puede afectar la calidad del recubrimiento de zinc en el producto	N/A	N/A
			Prioridad de las fallas potenciales del proceso	Definición del nivel de importancia de las causas detectadas	N/A	N/A
Diseñar el plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc con fundamento en el control y reducción de fallas en una línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: Colmenares, (2018).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta de forma detallada el estudio de cada una de las fases del proceso investigativo y se desarrollan los resultados obtenidos, mediante la organización, tabulación y codificación de los datos, para luego proceder a su respectivo análisis. Lo anterior, con la intención de dar respuesta a los objetivos planteados en el estudio.

Diagnóstico de las condiciones actuales de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado de alambres

Se realizó la recopilación documental en el Departamento de Producción con información referente tanto a los distintos tipos de alambres fabricados en la línea de galvanizado como de las cantidades producidas en el periodo de febrero a julio, tal como se presenta en el cuadro 8.

Cuadro 8. Tipos y Producción de Alambre Galvanizado

Calibre Alambre	Producción (toneladas) de Alambre Galvanizado					
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
9	19,9	3,2	10,7	24,9	12,8	13,6
12	5,6	1,0	0,0	10,7	3,6	8,1
16	10,5	1,6	4,0	16,3	13,0	8,7
17	3,6	0,1	1,6	7,8	7,4	7,2
Total (ton)	39,6	5,9	16,4	59,7	36,8	37,6

Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Producción.

El producto principal es el alambre galvanizado donde se evidencia en el cuadro 8 los distintos productos que fueron elaborados durante el periodo de estudio en la línea de galvanizado, la cual responde a la planificación de producción para cuatro tipos de productos, siendo éstos alambres galvanizados de calibres 9, 12, 16 y 17. La producción atiende a las solicitudes de los clientes internos y externos, y se evidencia producciones desde cinco punto nueve (5,9) toneladas para el mes de marzo, como valor más bajo, hasta cincuenta y nueve punto siete (59,7) toneladas en el mes de mayo, como el valor de la producción más alta. Es importante señalar que los alambres galvanizados son fabricados a través de la galvanización en caliente por proceso continuo, mostrado el procedimiento de trabajo en la figura 5.

DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ALAMBRE GALVANIZADO

REALIZADO POR: María Colmenares – Fecha: Agosto 2018 – MÉTODO: Actual

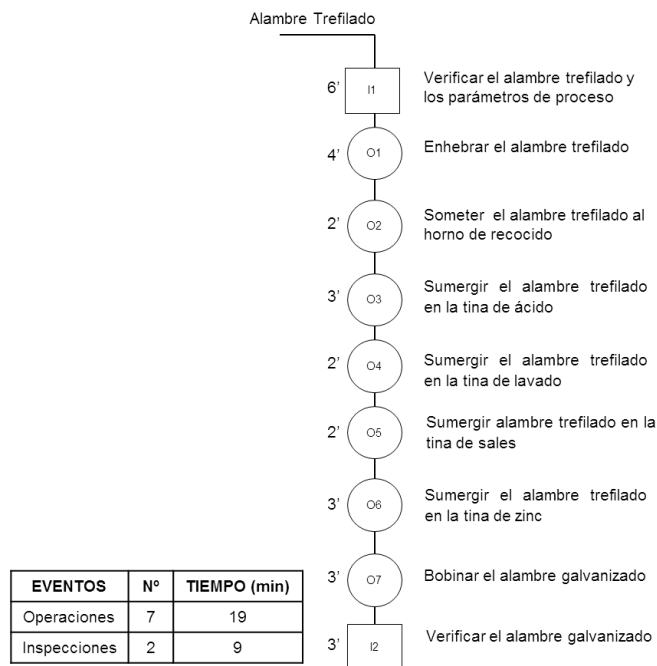


Figura 5. Diagrama de operaciones del proceso de fabricación del alambre galvanizado. Fuente: Colmenares (2018).

En el diagrama de operaciones del proceso, figura 5, se muestran las operaciones e inspecciones que forman parte del proceso productivo en la línea de galvanizado. Inicialmente, el material a procesar es recibido del área de trefilación cuyas verificaciones del diámetro, resistencia y ductilidad son realizadas previo al proceso; seguidamente el alambre es sometido a las distintas etapas de preparación para su posterior recubrimiento con zinc y finalmente el producto obtenido es inspeccionado por el Departamento de Calidad mediante ensayos de tracción, ductilidad, apariencia y recubrimiento para garantizar la calidad del proceso de galvanizado. En el gráfico 2 se muestra la totalidad en porcentaje de ensayos aprobados para cada ensayo realizado.

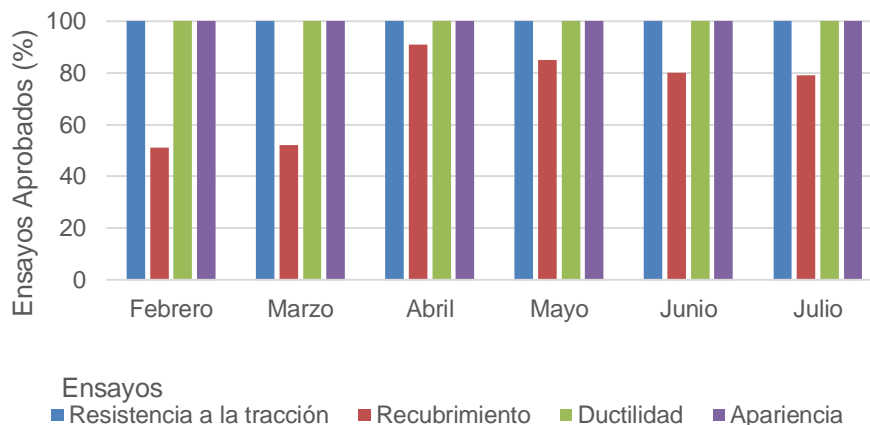


Gráfico 2. Ensayos realizados al alambre galvanizado. Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Calidad.

En el gráfico 2 se muestran los resultados de los análisis realizados al alambre galvanizado, los cuales arrojan que los ensayos de tracción, ductilidad y apariencia cumplen con las especificaciones debido a que la totalidad de los análisis se encuentran aprobados por el Departamento de Calidad. Ahora bien, el ensayo de recubrimiento no cuenta con la aprobación

total debido a resultados que no cumplen con los requisitos de la masa mínima de zinc, por lo que se generan rechazos mensualmente de dichos productos procesados por el Departamento de Calidad, siendo los meses de febrero y marzo con mayor porcentaje de rechazos, con un cuarenta y nueve por ciento (49%), y con un cuarenta y ocho por ciento (48%) respectivamente. Por consiguiente, estos defectos por recubrimiento originan mensualmente reportes de no conformidad y a su vez, reprocesos del alambre galvanizado y/o concesiones del material.

De ahí que, se realizó la recopilación documental en informes de los ensayos de recubrimiento realizados mediante la determinación de la masa mínima de la capa de zinc del alambre galvanizado, basado en la Norma COVENIN 565:2009, para obtener las cantidades totales de ensayos aprobados y rechazados por cada tipo de alambre galvanizado, reflejado en el cuadro 9.

Cuadro 9. Resultados de la determinación de la masa mínima de la capa de zinc por producto

Mes	Calibre Alambre Galvanizado	Ensayos		
		Total	Aprobados	Rechazados
Febrero	9	83	70	13
	12	40	20	20
	16	54	9	45
	17	34	8	26
	Total	211	107	104
Marzo	9	25	20	5
	12	22	13	9
	16	14	0	14
	17	2	0	2
	Total	63	33	30

Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Calidad.

Cuadro 9. Resultados de la determinación de la masa mínima de la capa de zinc por producto (cont.)

Mes	Calibre Alambre Galvanizado	Ensayos		
		Total	Aprobados	Rechazados
Abril	9	80	80	0
	12	0	0	0
	16	32	21	11
	17	17	17	0
	Total	129	118	11
Mayo	9	193	185	8
	12	96	91	5
	16	89	44	45
	17	85	75	10
	Total	463	395	68
Junio	9	72	72	0
	12	28	19	9
	16	106	72	34
	17	75	62	13
	Total	281	225	56
Julio	9	107	107	0
	12	66	63	3
	16	85	45	40
	17	78	50	28
	Total	336	265	71

Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Calidad.

Basado en los datos de la producción expuestos en el cuadro 8 y de los ensayos del recubrimiento mostrados en el cuadro 9, se procedió a asociar mes por mes la producción en toneladas de los alambres procesados y de los ensayos aprobados mediante gráficos, para detectar patrones y tendencias referente al comportamiento del alambre galvanizado tal como lo muestra el gráfico 3.

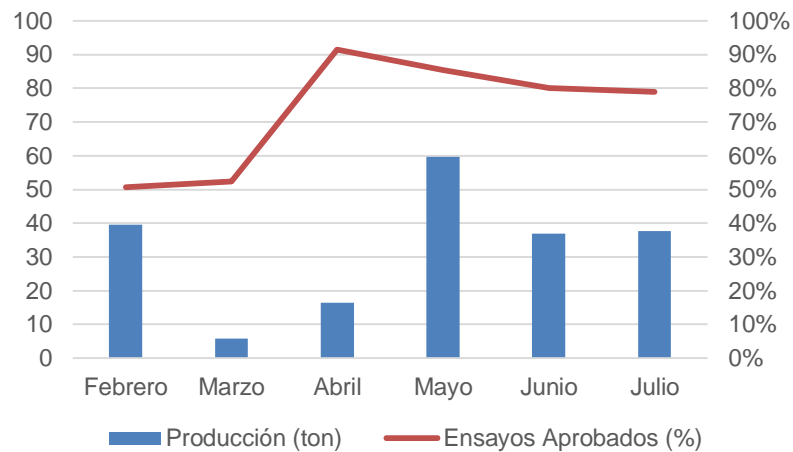


Gráfico 3. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc en una línea de galvanizado de alambres. Fuente: Colmenares (2018).

En el gráfico 3 se muestra la variación de la cantidad de ensayos aprobados respecto a la producción, no existiendo un patrón de comportamiento claro ni una relación entre los mismos. Se observa que en el mes de febrero y marzo se genera la mayor cantidad de rechazo de alambre galvanizado a pesar de las distintas cantidades de producción realizadas. Por su parte, durante el mes de abril se obtuvo la mayor cantidad de ensayos aprobados siendo de noventa y un por ciento (91%) para una baja producción de dieciséis punto cuatro (16,4) toneladas; y a partir del mes de mayo tiende a mantenerse tanto las cantidades de ensayos aprobados como de producción, sin embargo, no quedan exentos de la generación de rechazo en el alambre, lo que ocasiona el levantamiento de no conformidades, retrabajos y pérdida de materiales.

Es por ello que, se asoció la misma data de la producción y de los ensayos aprobados de recubrimiento, pero esta vez para cada tipo de alambre galvanizado procesado, con el fin de detectar cual o cuales de los

mismos son los que ocasionan el incumplimiento de especificaciones de la masa mínima de zinc y las variaciones en la aprobación de los ensayos. En los gráficos 4, 5, 6 y 7 que se presentan a continuación, se evidencia la condición actual de producción y calidad para el alambre galvanizado calibre 9, alambre galvanizado calibre 12, alambre galvanizado calibre 16, y finalmente para el alambre galvanizado calibre 17, respectivamente.

Condición actual alambre galvanizado calibre 9

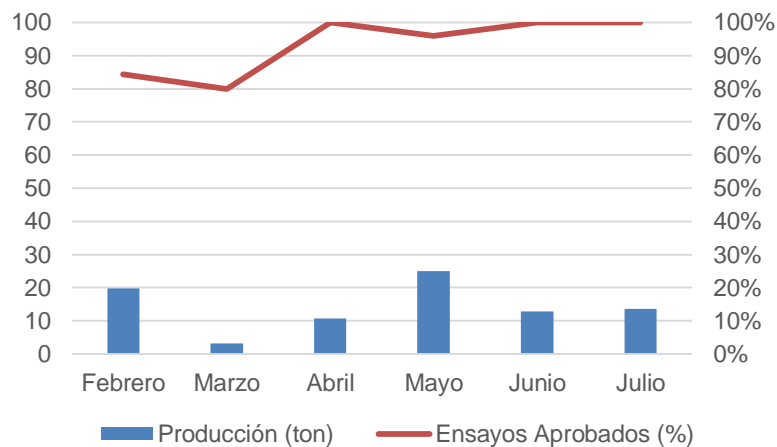


Gráfico 4. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C9. Fuente: Colmenares (2018).

En el gráfico 4 se evidencia la condición actual del alambre galvanizado calibre 9, la cual refleja resultados de ensayos de recubrimiento con mayor cumplimiento de especificación debido a las cantidades de aprobación del material por encima del ochenta por ciento (80%). Para los meses de febrero y marzo hubo rechazo de material y generación de reportes de no conformidad y generación de concesiones, sin embargo, a partir de abril los ensayos fueron aprobados.

Condición actual alambre galvanizado calibre 12

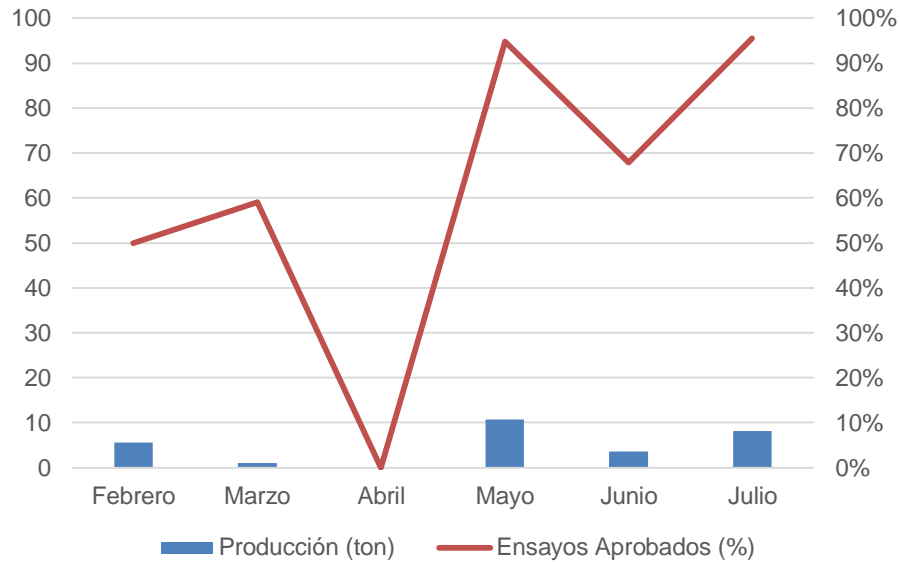


Gráfico 5. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C12. Fuente: Colmenares (2018).

A pesar que para el alambre galvanizado calibre 12, inicialmente se muestra una tendencia de ensayos aprobados en aumento en el gráfico 5, los resultados reflejan incumplimiento en el requisito de la masa mínima de recubrimiento; rechazos de alambre galvanizado de un cincuenta por ciento (50%) de la producción en febrero y de un treinta y dos por ciento (32%) para el mes de junio, lo que generó no conformidad para el Departamento de Producción, y por consiguiente reprocesos del material y concesiones.

Condición actual alambre galvanizado calibre 16

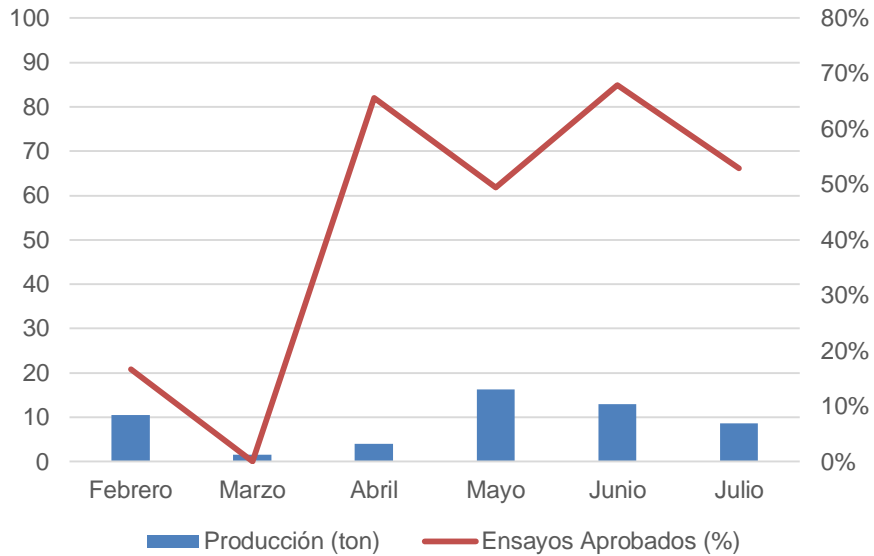


Gráfico 6. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C16. Fuente: Colmenares (2018).

Se aprecia en el gráfico 6, gran variabilidad en el porcentaje de ensayos aprobados realizados por el Departamento de Calidad, inicialmente sólo el diecisiete por ciento (17%) de la producción fue aprobada y para el siguiente mes, todos los productos fueron rechazados por incumplimiento de especificaciones, para el mes de abril hubo un aumento del sesenta y seis por ciento (66%) de material aprobado y baja seguidamente a tan solo el cuarenta y nueve por ciento (49%), repitiéndose dicha subida y bajada en los meses de junio y julio, causando no conformidades durante todos los meses y retrabajos en las operaciones.

Condición actual alambre galvanizado calibre 17

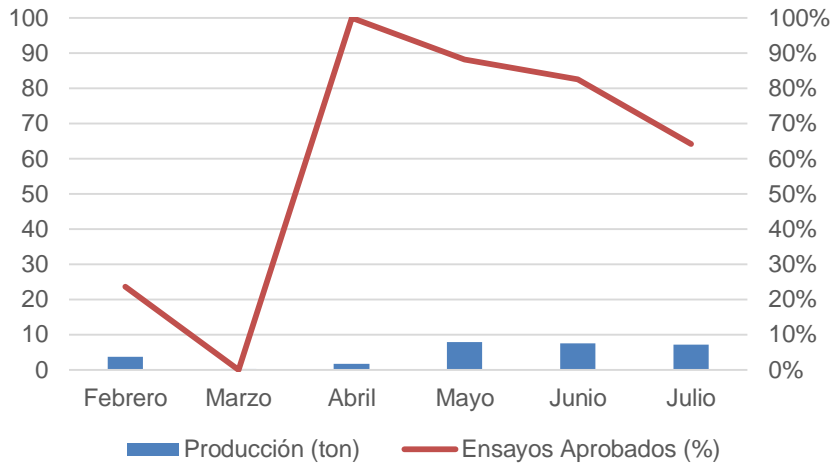


Gráfico 7. Condición actual de producción y calidad del proceso del recubrimiento de zinc para el alambre galvanizado C17. Fuente: Colmenares (2018).

En dicho gráfico se evidencia que inicialmente fueron aprobados el veinticuatro por ciento (24%) de los ensayos realizados en el mes de febrero, para el mes de marzo fueron rechazados todos los ensayos a pesar que la producción fue muy baja, tan solo del cero punto uno (0,1) toneladas, la totalidad de los ensayos realizados para el mes de abril fueron aprobados, es decir, se obtuvo el cien por ciento (100%) de los ensayos realizados de la capa de zinc y seguidamente se obtiene rechazos en los ensayos, lo que significa un descenso en los ensayos aprobados, desde el ochenta y ocho por ciento (88%) en mayo, el ochenta y tres por ciento (83%) en junio y el sesenta y cuatro por ciento (64%) para el mes de julio, lo que ocasionó del misma modo que los otros tipos de alambre no conformidades para el Departamento de Producción, retrabajo y pérdida de materiales.

De esta manera, se puede concluir que los cuatros tipos de alambres galvanizados sometidos en la misma línea de galvanizado presentan rechazos por incumplimiento de parámetros en la determinación de la masa mínima de la capa de zinc, es decir, del ensayo de recubrimiento, lo cual produce el levantamiento de no conformidades y a su vez retrabajo en las operaciones para así dar respuesta a dicho incumplimiento como también pérdida de materiales.

El alambre galvanizado calibre 9 es el que presenta una tendencia más constante de los ensayos aprobados del recubrimiento de zinc, siendo el rango de aprobación entre el ochenta por ciento (80%) y el cien por ciento (100%), es decir un promedio del noventa y tres por ciento (93%), por lo que se evidencia una mayor cantidad de ensayos aprobados por parte del Departamento de Calidad. Por su parte, los alambres galvanizados calibre 12 y calibre 17 presentan una tendencia similar en promedio de ensayos aprobados; el calibre 12 da como resultado un promedio del sesenta y uno por ciento (61%), siendo el rango de aprobación del cincuenta por ciento (50%) al noventa y cinco por ciento (95%); y el alambre calibre 17, arroja un promedio de ensayos aprobados del sesenta por ciento (60%), donde el rango de aprobación de los ensayos es desde el veinticuatro por ciento (24%) al cien por ciento (100%).

Por otra parte, el alambre calibre 16 a diferencia del alambre calibre 9, es el que presenta una tendencia más variable y los resultados más bajos respecto a los porcentajes de aprobación de los ensayos para el periodo de febrero-julio; el rango oscila entre el diecisiete por ciento (17%) al sesenta y ocho por ciento (68%), obteniendo un promedio de aprobación del cuarenta y dos por ciento (42%), por lo que se evidencia que dicho alambre galvanizado

es el que genera mayor número de no conformidades, seguido del alambre calibre 17, luego el calibre 12 y de último el calibre 9.

Materias Primas

Inicialmente, se estudió la materia prima utilizada debido a que la misma juega un papel muy importante en el proceso productivo; la calidad del producto final depende de los materiales empleados para su fabricación. En el proceso de galvanizado se tienen dos entradas, la primera es el alambre trefilado proveniente del Departamento de Trefilación, el encargado de transformar el alambroón de acero de bajo carbono; y la segunda, es el zinc, el cual es adquirido en lingotes y es colocado en la tina para ser fundido y así poder ser utilizado para el recubrimiento.

Los alambres trefilados empleados para la producción del alambre galvanizado son de calibre 9, 12, 16 y 17, donde el Departamento de Calidad verifica la resistencia del material mediante pruebas de tracción, el cual según la Norma Venezolana COVENIN 917 indica que, “La resistencia mínima a la tracción para el alambre trefilado debe ser de 32 Kg/mm²” (p. 2), y los resultados arrojados de los ensayos realizados cumplen con lo indicado en dicha norma. Por otro lado, también se verifica las dimensiones del alambre trefilado; diámetro y ovalidad, basado en las tolerancias de los diámetros de alambre trefilado según lo especificado por la misma norma COVENIN 917, mostrado a continuación.

Cuadro 10. Tolerancias en los diámetros del alambre trefilado

Diámetro Nacional d (mm)	Discrepancias admisibles por excesos (+) o por defectos (-) en el diámetro nominal (mm)	Ovalidad máxima permisible
$0,71 \leq d \leq 0,90$	$\pm 0,02$	0,02
$0,90 \leq d \leq 1,40$	$\pm 0,02$	0,02
$1,40 \leq d \leq 2,24$	$\pm 0,03$	0,03
$2,24 \leq d \leq 3,55$	$\pm 0,03$	0,03
$3,55 \leq d \leq 5,60$	$\pm 0,05$	0,05
$5,60 \leq d \leq 9,00$	$\pm 0,06$	0,06
$9,00 \leq d \leq 10,00$	$\pm 0,06$	0,06

Fuente: Norma COVENIN 917:2001.

Los resultados obtenidos del material ensayado en relación a las dimensiones del alambre trefilado se han mantenido en los criterios de aceptación de la norma, los cuales indican que para alambres calibre 9 la ovalidad máxima permitida es del cero punto cero cinco (0,05), para calibre 12 y calibre 16 es del cero punto cero tres (0,03); y para alambres calibre 17 la ovalidad máxima permitida es del cero punto cero dos (0,02), por lo que los ensayos realizados en el material de estudio cumplieron con los estándares de calidad.

Por otro lado, el zinc utilizado en el proceso de galvanizado, no se le realiza ningún ensayo cuando es recepcionado, sólo se valida que el certificado de calidad sea emitido y entregado por el proveedor y la pureza del zinc se encuentre al noventa y nueve por ciento (99%), también existe otro tipo de zinc que es utilizado en menor cantidad y es el zinc reciclado, el

cual se encuentra a un ochenta por ciento (80%) de pureza según certificado de calidad del proveedor.

Proceso

Recocido

Ahora bien, en la recopilación documental referente a los parámetros inspeccionados en el proceso de galvanizado se constató que es realizado el chequeo diario de la temperatura del horno de recocido por parte del operador de la línea de galvanizado y los resultados son reportados en formatos donde se evidenció que las temperaturas arrojaban valores dentro de los rangos definidos, entre los ochocientos grados centígrados (800°C) y los mil grados centígrados (1.000°C), para la data considerada en el periodo de estudio. Según el proceso interno, el recocido es un tratamiento térmico utilizado para reducir la dureza, aumentar la ductilidad y ayudar a eliminar las tensiones internas.

Baño de ácido

Del mismo modo, es ensayado por parte del Departamento de Calidad muestras del baño de ácido dispuesto en la tina, es decir, se determina la concentración de la solución. Se reflejan los resultados obtenidos para los meses de febrero a julio en el gráfico mostrado a continuación.

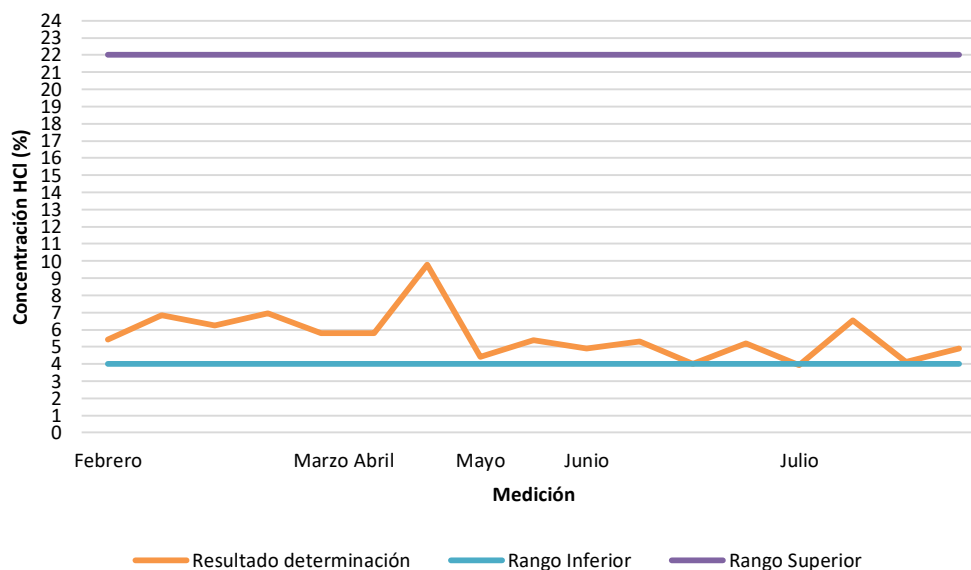


Gráfico 8. Concentración del ácido clorhídrico de la tina. Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Calidad.

Se evidencia en el gráfico 8 que los resultados de concentración de ácido se encuentran durante todo el periodo de estudio cercanos al límite inferior de trabajo, siendo este límite del cuatro por ciento (4%), y en consecuencia se genera la presencia de lodos en el depósito de la tina lo que puede originar la pérdida de influencia del ácido en el decapado.

En efecto, en los reportes consultados muestran que la última limpieza a la tina fue realizada hace más de un año, donde se obliga de esta manera al personal de la línea a realizar adiciones regulares de tambores de ácidos para mantener la concentración dentro del rango de trabajo y no dejar que decaiga de forma significativa la velocidad del decapado por presencia de contaminantes. En el cuadro 11, se muestra el procedimiento realizado para mantener la solución de la tina dentro de parámetros.

Cuadro 11. Diagrama del proceso – Etapa: tina de ácido

RESUMEN						Nombre del Proceso: <u>Galvanizado - Etapa: tina de ácido.</u>										
	Actual		Propuesto		Diferencias		Hombre [X] Material []									
	No	Tiempo	No	Tiempo	No	Tiempo										
Operaciones	5	35					Se inicia en: <u>Enhebrado del alambre trellado.</u>									
Transportes							Se termina en: <u>Bobinado del alambre galvanizado.</u>									
Inspecciones	2	33					Hecho por: <u>María Colmenares.</u> Fecha: <u>Agosto18</u>									
Demoras																
Almacenes																
Distancia recorrida	mts.		mts.		mts.											
Tiempo total (min)	68															

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [X] Propuesto []	Operación Transporte Inspección Demora Almacenaje	Cantidad (Kg)	Tiempo (min)	ANÁLISIS					OBSERVACIONES	ACCIÓN					
					Por que?						Eliminar	Cambiar	Secuencia	Lugar	Persona	Mejorar
					Que es?	Donde es?	Cuando?	Quien?	Como?							
1.- Verificación del nivel de la solución de la tina de ácido.		○→■□▽		3					x	Se observa que el nivel se encuentre por encima de la entrada de la bomba de recirculación para que la misma trabaje adecuadamente.						
2.- Trasvase de tambor(es) de ácido clorhídrico en la tina.		●→□□▽		10					x	En caso de que la tina no tenga el nivel adecuado, se agrega uno o mas tambores de ácido o agua, según sea necesario.						
3.- Recolección de muestra de la solución de la tina.		●→□□▽		5												
4.- Entrega de muestras recolectadas al laboratorio de Calidad.		●→□□▽		5												
5.- Determinación de la concentración de la solución.		○→■□▽		30												
6.- Entrega de los resultados obtenidos de la concentración.		●→□□▽		5												
7.- Trasvase de tambor(es) de ácido clorhídrico en la tina.		●→□□▽		10					x	En caso que el resultado obtenido no se encuentre dentro del rango establecido.						

Fuente: Colmenares, (2018).

En el cuadro 11, se observa las actividades que son realizadas en caso de ser necesario, manteniendo así el nivel y la concentración de la solución mediante adiciones periódicas de ácido en la tina para reponer pérdidas producidas tanto por arrastre del alambre como por evaporación, las adiciones son compensadas con la adición de agua.

Lavado

En esta etapa se chequea que las boquillas de la ducha de la tina no se encuentren obstruidas y de ser así, el operador realiza una limpieza de las mismas. Del mismo modo, es chequeado que el nivel de agua sea el

necesario para que la tina no se quede sin agua y una vez pase el alambre trefilado por allí sea lavado debidamente.

Baño de sales

En relación a los controles de proceso para esta etapa, el operador chequea la concentración según la coloración de la solución en la tina y una vez se encuentre fuera de rango según su experiencia procede a agregarle más sales o en su defecto cambiar la solución.

Baño de zinc

Respecto al chequeo realizado en la tina de zinc, se verifica la temperatura dos veces al día mediante el uso de un pirómetro y la data es reportada en registros internos, siendo los resultados reflejados en el gráfico 9 mostrado a continuación.

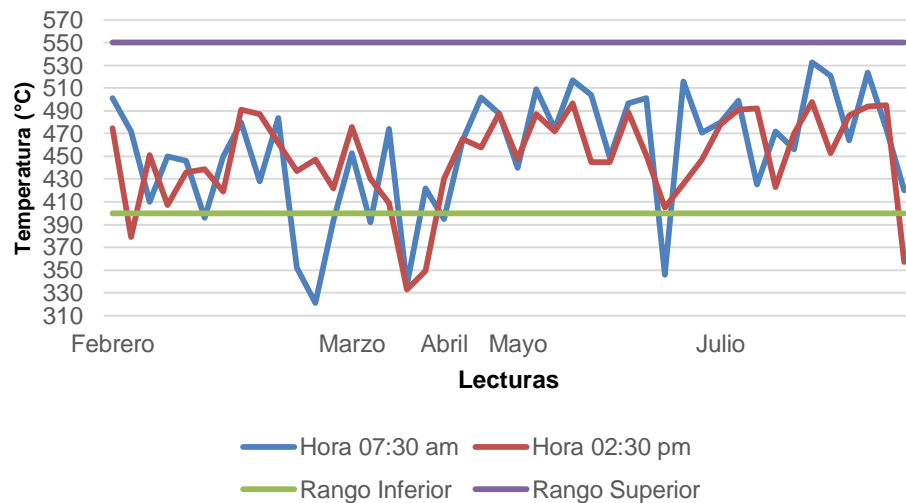


Gráfico 9. Medición de temperatura en la tina. Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Producción.

En el gráfico 9 se muestra cómo se comporta la temperatura entre el rango de trabajo definido entre los cuatrocientos grados centígrados (400 °C) hasta los quinientos cincuenta grados centígrados (550 °C), donde se observa que para la medición de la mañana (07:30 am) presenta un promedio de temperatura de cuatrocientos cincuenta y cuatro grados centígrados (454 °C), existiendo puntos fuera del límite inferior de control y para la medición de la tarde (02:30pm) un promedio de temperatura de cuatrocientos cuarenta y ocho grados centígrados (448 °C) evidenciándose de igual manera puntos fuera del mismo límite inferior.

Por otro lado, en cuanto a la velocidad de inmersión del alambre en el baño, la misma es fija debido a que se controla mediante los motores del tren de arrastre para el material calibre 9 y calibre 12, mientras para el alambre calibre 16 y calibre 17, la velocidad se tiene definida y es monitoreada constantemente.

Ahora bien, el consumo de zinc es presentado en el gráfico 10.

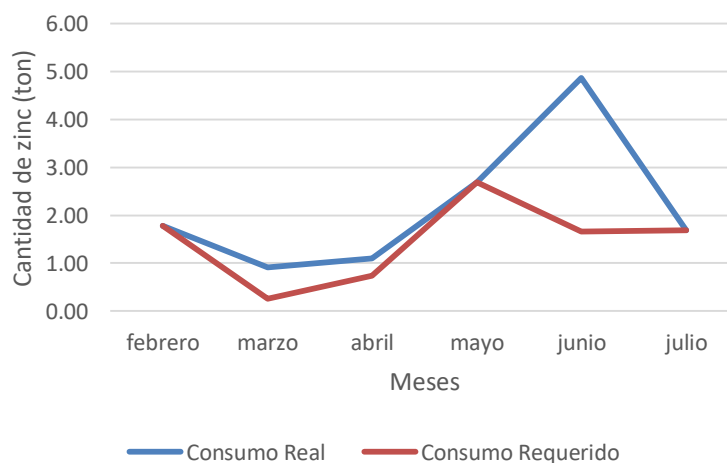


Gráfico 10. Consumo de zinc. Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Producción.

Al analizar la información del gráfico 10, se observa el consumo de zinc real respecto al requerido por la planificación de la producción, donde en los meses de febrero, mayo y julio el consumo fue del cien por ciento (100%) de acuerdo a lo requerido, mientras que en los otros meses se superó dicho consumo, de ahí que, se determinó la cantidad del consumo actual, siendo de un ochenta por ciento (80%) por encima respecto al requerido.

Asimismo, es verificado el nivel de zinc en la tina según indicador interno de la misma. En el gráfico 11 se muestra la generación de escoria (dross y cenizas) para el mismo periodo de estudio.

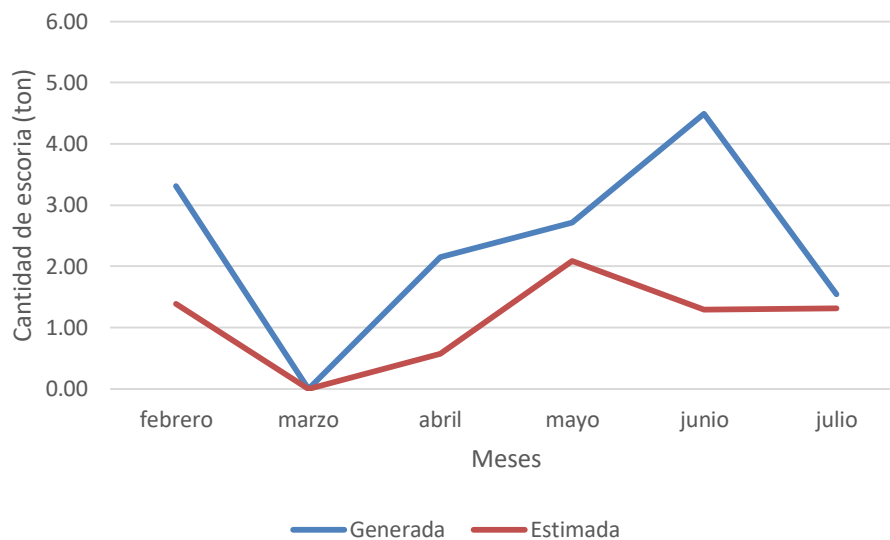


Gráfico 11. Generación de escoria. Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Producción.

Del gráfico 11 se tiene que la generación de escoria en la tina de zinc presenta un valor por encima del estimado en todos los meses en que hubo producción, lo cual puede generar interferencia en el recubrimiento del alambre que afecta directamente la cantidad de masa requerida.

Mano de obra

Con respecto a la evaluación del conocimiento, capacitación y experiencia del personal en el área productiva se realizó una encuesta a los operadores de planta (ver Anexo A) para obtener así información relevante acerca de su desempeño en el proceso. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la misma.

Indicador de conocimiento de los operadores (ítem 1, 2 y 3)

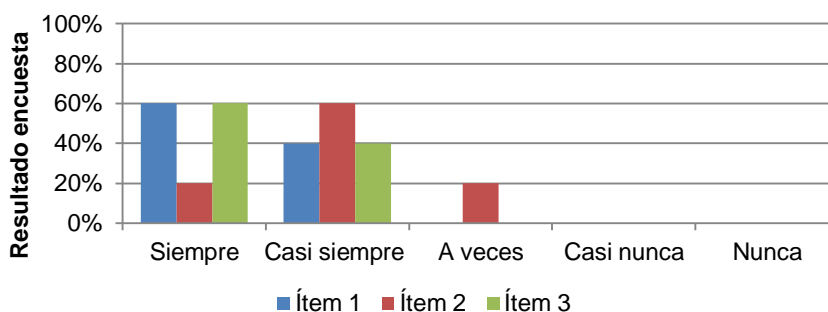


Gráfico 12. Resultados de encuesta referente a conocimiento, ítem 1, 2 y 3. Fuente: Colmenares (2018), datos obtenidos en encuesta.

En atención a las primeras preguntas realizadas a los operadores basadas en el conocimiento, el ítem 1 correspondió a si disponen de procedimientos y/o instructivos de trabajo que le guíen al momento de la ejecución de las actividades, se obtuvo como resultado tal como lo indica el gráfico 12 que el sesenta por ciento (60%) de los operadores siempre dispone de los procedimientos en el área de trabajo y el cuarenta por ciento (40%) casi siempre. Mientras que en los resultados arrojados para el ítem 2, si los operadores reciben notificación referente a las no conformidades

generadas, se evidencia que el veinte por ciento (20%) respondió siempre, el sesenta por ciento (60%) casi siempre, y el veinte por ciento (20%) a veces.

Por su parte, el ítem 3 de la pregunta si los operadores saben cómo ejecutar las actividades cuando se les ordenan, el gráfico 12 muestra que los encuestados respondieron a la opción de siempre con un sesenta por ciento (60%), mientras que el cuarenta por ciento (40%) respondió casi siempre.

Indicador de capacitación de los operadores (ítem 4, 5 y 6)

Ahora bien, los resultados obtenidos en los ítems 4, 5 y 6 corresponden a las preguntas realizadas en función a la capacitación con que el operador cuenta y se muestran en el gráfico 13.

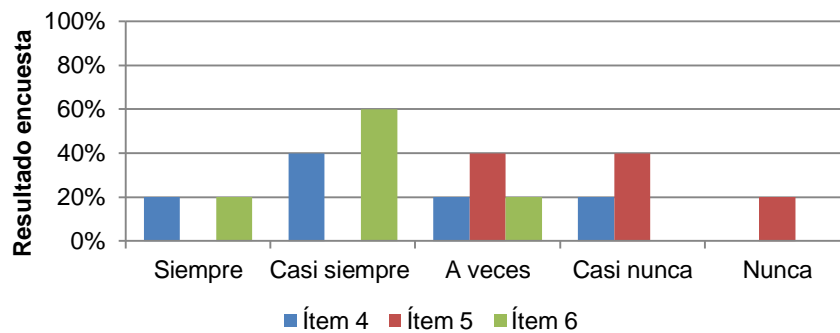


Gráfico 13. Resultados de encuesta referente a capacitación, ítem 4, 5 y 6. Fuente: Colmenares (2018), datos obtenidos en encuesta.

Respecto al gráfico 13, refleja los resultados obtenidos en el ítem 4 por los encuestados, siendo el veinte por ciento (20%) para la opción siempre, cuarenta por ciento (40%) casi siempre, veinte por ciento (20%) a veces y el otro veinte por ciento (20%) casi nunca tienen capacitación respecto a la calidad del producto.

En el ítem 5, referente a que si los operadores reciben inducciones de procedimientos de trabajo se obtuvo el cuarenta por ciento (40%) para la opción de a veces, otro cuarenta por ciento (40%) para la opción de casi nunca y el veinte por ciento (20%) restante para la opción de nunca.

En relación a la pregunta realizada en el ítem 6, correspondiente a que, si los operadores conocen las acciones para corregir las no conformidades generadas, en el mismo gráfico 13 se evidencia que el veinte por ciento (20%) de los encuestados respondieron siempre, el sesenta por ciento (60%) casi siempre y el veinte por ciento (20%) restante a veces.

Indicador de experiencia de los operadores (ítem 7, 8 y 9)

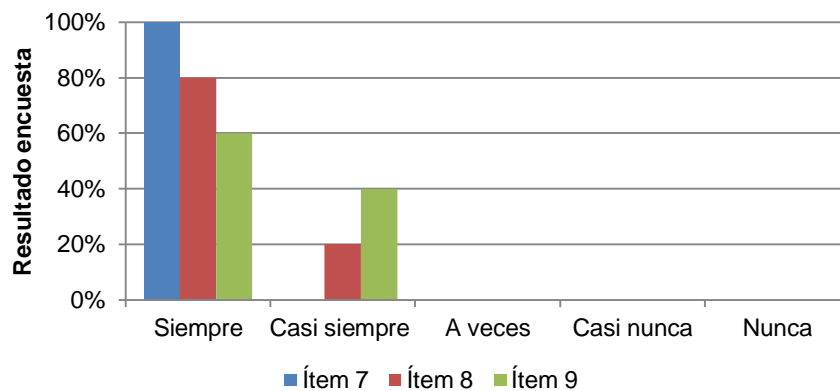


Gráfico 14. Resultados de encuesta referente a experiencia, ítem 7, 8 y 9. Fuente: Colmenares (2018), datos obtenidos en encuesta.

Ahora bien, en la pregunta del ítem 7 sobre la realización de los chequeos de parámetros de procesos, según el gráfico 14 muestra que el cien por ciento (100%) de los operadores respondieron con la opción de siempre, lo que indica que los encuestados conocen y realizan inspecciones

durante el proceso de galvanizado. En cuanto a los resultados obtenidos en el ítem 8 de la encuesta aplicada, la pregunta realizada fue que si el operador informa cuando algún parámetro de proceso está fuera de especificación a la cual un ochenta por ciento (80%) respondió con la opción de siempre y el veinte por ciento restante (20%) con la opción de casi siempre.

Por último, para la pregunta del ítem 9 sobre si el operador sabe qué hacer para controlar el proceso productivo si algún parámetro de proceso se encuentra fuera de rango de especificación se obtuvo que el sesenta por ciento (60%) respondió a la opción de siempre y el cuarenta por ciento (40%) a la opción de casi siempre.

En este mismo sentido, se puede decir finalmente que los operadores de producción conocen sobre las funciones y responsabilidades que competen al puesto de trabajo de la línea de galvanizado, están claros con los objetivos que deben cumplir y desempeñar, por lo que cuentan con los procedimientos e instrucciones de trabajo que los guían en la ejecución de las actividades, pero hay que destacar que los mismos no abarcan todas las tareas que deben realizar. La importancia de que existan manuales de procedimientos de trabajo, se basa en el hecho de que ayuda a los operadores para que se orienten y apoyen de los pasos que deben seguir para llevar a cabo una actividad en los casos que se presenten dudas. Por otro lado, también se evidencia que la capacitación a pesar que en algún momento fue realizada no cuenta con refrescamientos constantes de calidad, a pesar que los operadores tienen experiencia en el área de trabajo.

Evaluación de la calidad del producto dentro del proceso productivo, midiendo la eficiencia del proceso, utilizando el método defectos por millón de oportunidades o DPMO

Se evaluó la eficiencia del proceso en la línea de galvanizado por medio del DPMO, donde las muestras correspondieron a las seleccionadas por el Departamento de Calidad durante el periodo de estudio para su verificación respecto a los ensayos realizados al alambre galvanizado, los cuales son ensayos de resistencia a la tracción, ductilidad, apariencia y recubrimiento. A continuación, en el cuadro 12 se presentan las cantidades de muestras seleccionadas respecto a los resultados de ensayos rechazados por incumplimiento al recubrimiento.

Cuadro 12. Ensayos rechazados por recubrimiento

Mes	Muestras	Rechazos
Febrero	211	104
Marzo	63	30
Abril	129	11
Mayo	463	68
Junio	281	56
Julio	336	71
Total	1483	340

Fuente: Colmenares (2018), datos ofrecidos por el Departamento de Calidad.

Del cuadro 12, se observa que en la línea de galvanizado fueron realizados los ensayos al alambre galvanizado, donde se contaron con mil cuatrocientos ochenta y tres (1483) muestras seleccionadas desde febrero hasta julio y en los resultados obtenidos de las inspecciones realizadas se encontraron trescientos cuarenta (340) muestras insatisfactorias por el

incumplimiento de especificaciones del ensayo de recubrimiento de la capa de zinc.

Ahora bien, para cada muestra seleccionada se puede obtener cuatro defectos por incumplimiento a los ensayos antes mencionados, o, en otras palabras, a cada muestra se le pueden realizar cuatro tipos de ensayos, por lo que se definió así que para cada muestra se tiene cuatro oportunidades por error. En este contexto, se realizó el cálculo del DPO y del DPMO donde los resultados son presentados en el cuadro 13 conjuntamente con los resultados obtenidos del nivel sigma.

Cuadro 13. Resultados del DPMO y Nivel Sigma

Mes	Número de muestras	Número de Defectos (Rechazos)	Número de oportunidades de error por muestra	DPO	DPMO	Sigma	Medida del Nivel Sigma		
							Nivel Sigma ($\bar{\sigma}$)	DPMO	Eficiencia (%)
Febrero	211	104	4	0,12	123.222,75	2,66	1	691.462	30,85
Marzo	63	30		0,12	119.047,62	2,68	2	308.538	69,15
Abril	129	11		0,02	21.317,83	3,53	3	66.807	93,30
Mayo	463	68		0,04	36.717,06	3,29	4	6.210	99,30
Junio	281	56		0,05	49.822,06	3,15	5	233	99,98
Julio	336	71		0,05	52.827,38	3,12	6	3,40	99,99
Total	1483	340			0,06	57.316,25	3,08		

Fuente: Colmenares, (2018).

De esta manera, se determinó que según el cálculo del DPO se tiene que de las mil cuatrocientos ochenta y tres (1483) muestras de alambre galvanizado fueron fabricadas cero punto cero seis (0,06) con defectos y para el cálculo del DPMO se tiene que para un millón de ensayos realizados (cuatro distintos por muestras de alambre) resultaron cincuenta y siete mil trescientos dieciséis punto veinticinco (57.316,25) con defecto por

recubrimiento de capa de zinc, siendo el nivel sigma del proceso de tres punto cero ocho (3,08) lo que significa que no se tiene un proceso seis sigma, ya que la meta es tener tres punto cuatro (3,4) DPMO como máximo para una eficiencia del noventa y nueve punto noventa y nueve por ciento (99,99%), por lo que se tiene finalmente que la calidad del producto terminado no es alta, y como resultado se debe mejorar el proceso.

Determinación de las causas que originan variaciones de calidad en el proceso de recubrimiento de zinc en los alambres galvanizados mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas

Modo de falla potencial

Se realizó el análisis de los modos de falla potencial fue establecido y definido como la capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación, ya que se consideró como la única manera en que el proceso puede generar el incumplimiento del requerimiento considerado como la calidad del recubrimiento de zinc.

Efecto(s) de la falla potencial

Se establecieron los efectos de falla potencial enfocados en los resultados que pueden ser percibidos por los clientes, tanto internos como externos para el modo de falla potencial definido; los efectos determinados corresponden a:

Pérdida de materia prima: debido a una vez se obtenga el alambre galvanizado fuera de especificación, la materia prima y materiales empleados en el proceso para dicho alambre son malgastados.

Reclamos del cliente externo: Una vez entregado al cliente externo y al observar que el producto se oxida o corroe rápidamente, o al verificar la masa mínima requerida de recubrimiento generará insatisfacción y posibles quejas o reclamos, pudiendo perder la confianza en la empresa.

Retrabajo: Dependiendo para donde sea destinado el alambre galvanizado deberá ser reprocesado para aumentar la capa de zinc en el mismo.

Retraso en la entrega del producto: debido a que se estaría incumpliendo con los plazos o tiempos de entrega, generando pérdidas económicas bien sea para el cliente o para la empresa, lo que se traduciría en insatisfacción por parte del cliente.

Por otro lado, se evaluó la severidad, mostrada en el cuadro 14, en donde los valores establecidos para cada una de las fallas fueron obtenidos de las tablas y criterios definidos por Chrysler LLC y otros (2008).

Cuadro 14. Criterios evaluados para la severidad

REQUERIMIENTO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD
Calidad del recubrimiento de zinc	Capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación	Pérdida de materia prima	8
		Reclamos del cliente externo	9
		Retrabajo	8
		Retraso en la entrega del producto	5

Fuente: Colmenares, (2018).

Del cuadro 14, se obtuvo que el efecto reclamos del cliente externo fue el considerado con severidad más alta debido a que el usuario final notaría y/o experimentaría la falla por lo que se estaría incumpliendo en normas y acuerdos previos, ocasionando inconformidades.

Causas de la falla potencial

Se determinó una vez revisada la información que la variable a considerar para el análisis de las causas será enfocada en las operaciones del proceso productivo debido a que se evidenció variabilidad de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los distintos tipos de los alambres galvanizados, los cuales son sometidos simultáneamente en la misma línea. A diferencia de las verificaciones e inspecciones realizadas al alambre trefilado y al zinc inicialmente se han mantenido dentro de los criterios de aceptación; y se puede decir que el personal conoce y tiene experiencia sobre las actividades que deben realizar.

Se analizaron las posibles causas que intervienen en las operaciones del proceso y se evaluaron durante tres semanas para determinar el nivel de frecuencia, es decir, el número de veces que aparecen las mismas por semana en el proceso según lo reportado por los operadores, donde fue establecido con valores la aparición de cada una de las causas por semana, correspondiendo a: dos (2) veces por semana, una (1) vez por semana y con cero (0) si no apareció la causa en la semana, mostrado a continuación en el cuadro 15. Basado en ésta información se pudo determinar la ocurrencia para cada una de las causas según las tablas establecidas por Chrysler LLC y otros (2008).

Cuadro 15. Frecuencia de causas reportadas

N°	Casusas de las fallas potenciales	Aparición de causas			
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Total
1	Concentración del ácido de la tina por debajo del límite de especificación inferior	1	1	2	4
2	Falta de limpieza de la tina de ácido	2	0	2	4
3	Nivel de la solución de ácido de la tina por debajo del límite especificado	0	0	0	0
4	Falla en bombas de tina	0	1	0	1
5	Falta de agua en la tina de lavado	1	0	0	1
6	Ducha de lavado con boquillas tapadas	1	1	1	3
7	Concentración de la solución de sales	2	1	1	4
8	Temperatura fuera de especificación en la tina de zinc	2	1	1	4
9	Mala condición de la piedra de inmersión de la tina de zinc	2	2	2	6
10	Falta de amarre en salida tina de zinc				0
11	Presencia de contaminantes en la tina de zinc	1	2	2	5
12	Bajo nivel de zinc en la tina	2	2	1	5
13	Falla en sistema de combustión del horno de zinc	2	1	0	3
14	Falla en equipo de medición (pirómetro)	0	1	1	2
Valores según aparición 2 Dos veces por semana 1 Una vez por semana 0 No apareció					

Fuente: Colmenares, (2018).

Controles actuales del proceso para la detección

Se identificaron los controles existentes aplicados en el proceso para prevenir y detectar el efecto resultante, estableciéndolos como: medición de la concentración, controles visuales, planes de mantenimiento, medición de

temperatura y por último sin poseer ningún control. También se determinó el valor de la detección bajo los criterios establecidos en las tablas Chrysler LLC y otros (2008).

Número de prioridad en riesgos (NPR)

Se realizó el cálculo del NPR para todas las causas desarrolladas del modo de fallo potencial, empleando la fórmula:

$$\text{NPR} = \text{Severidad (S)} \times \text{Ocurrencia (O)} \times \text{Detección (D)}$$

Finalmente, se realizó la matriz que presenta los cálculos del NPR, mostrados en cuadro 16, y así una vez determinados todos los criterios que participan en el AMEF, se detectaron las causas más críticas que necesitan la atención y prioridad para poder ser mejoradas.

Cuadro 16. Análisis de modos y efectos de falla del Galvanizado

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES (AMEF DE PROCESOS)

ITEM: Galvanizado
EQUIPO CENTRAL: Coordinador de Calidad, Analista de Calidad, Coordinador de Producción y el Coordinador de Mantenimiento
NÚMERO DE AMEF: CAL-001
PÁGINA: 1 de 5
PREPARADO POR: María Colmenares
FECHA DEL AMEF: Septiembre 2018

FUNCIÓN DEL PROCESO	REQUERIMIENTO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CAUSA DE LA FALLA POTENCIAL	OCURENCIA	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PARA LA DETECCIÓN	DETECCIÓN	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLES	RESULTADOS ACCIONES
Galvanizado	Calidad del recubrimiento de zinc	Capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación	Pérdida de materia prima (8) / Reclamos del cliente externo (9) / Retrabajo (8) / Retraso en la entrega del producto (5)	9	Concentración del ácido de la tina por debajo del límite de especificación inferior	6	Medición de la concentración	6	324			
					Falta de limpieza de la tina de ácido	6	Control visual y sin registro	7	378			

Fuente: Colmenares, (2018).

Cuadro 16. Análisis de modos y efectos de falla del Galvanizado (cont.)

**ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES
(AMEF DE PROCESOS)**

ITEM: Galvanizado

EQUIPO CENTRAL: Coordinador de Calidad, Analista de Calidad, Coordinador de Producción y el Coordinador de Mantenimiento

NÚMERO DE AMEF: CAL-001

PÁGINA: 2 de 5

PREPARADO POR: María Colmenares

FECHA DEL AMEF: Septiembre 2018

FUNCIÓN DEL PROCESO	REQUERIMIENTO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CAUSA DE LA FALLA POTENCIAL	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PARA LA DETECCIÓN	DETECCIÓN	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLES	RESULTADOS ACCIONES
Galvanizado	Calidad del recubrimiento de zinc	Capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación	Pérdida de materia prima (8) / Reclamos del cliente externo (9) / Retrabajo (8) / Retraso en la entrega del producto (5)	9	Nivel de la solución de ácido de la tina por debajo del límite especificado	1	Control visual y sin registro	6	54			
					Falla en bombas de tina	2	Plan de Mantenimiento	6	108			
					Falta de agua en la tina de lavado	2	Control visual y sin registro	7	126			

Fuente: Colmenares, (2018)

Cuadro 16. Análisis de modos y efectos de falla del Galvanizado (cont.)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES (AMEF DE PROCESOS)

ITEM: Galvanizado

EQUIPO CENTRAL: Coordinador de Calidad, Analista de Calidad, Coordinador de Producción y el Coordinador de Mantenimiento

NÚMERO DE AMEF: CAL-001

PÁGINA: 3 de 5

PREPARADO POR: María Colmenares

FECHA DEL AMEF: Septiembre 2018

FUNCIÓN DEL PROCESO	REQUERIMIENTO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CAUSA DE LA FALLA POTENCIAL	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PARA LA DETECCIÓN	DETECCIÓN	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLES	RESULTADOS ACCIONES
Galvanizado	Calidad del recubrimiento de zinc	Capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación	Pérdida de materia prima (8) / Reclamos del cliente externo (9) / Retrabajo (8) / Retraso en la entrega del producto (5)	9	Ducha de lavado con boquillas tapadas	4	Control visual y sin registro	7	252			
					Concentración de la solución de sales	6	Control visual y sin registro	8	432			
					Temperatura fuera de especificación en la tina de zinc	6	Medición de la temperatura	7	378			

Fuente: Colmenares, (2018).

Cuadro 16. Análisis de modos y efectos de falla del Galvanizado (cont.)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES (AMEF DE PROCESOS)

ITEM: Galvanizado

EQUIPO CENTRAL: Coordinador de Calidad, Analista de Calidad, Coordinador de Producción y el Coordinador de Mantenimiento

NÚMERO DE AMEF: CAL-001

PÁGINA: 4 de 5

PREPARADO POR: María Colmenares

FECHA DEL AMEF: Septiembre 2018

FUNCIÓN DEL PROCESO	REQUERIMIENTO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CAUSA DE LA FALLA POTENCIAL	OCURENCIA	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PARA LA DETECCIÓN	DETECCIÓN	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLES	RESULTADOS ACCIONES
Galvanizado	Calidad del recubrimiento de zinc	Capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación	Pérdida de materia prima (8) / Reclamos del cliente externo (9) / Retrabajo (8) / Retraso en la entrega del producto (5)	9	Mala condición de la piedra de inmersión de la tina de zinc	8	Sin control	9	648			
					Falta de amarre en salida tina de zinc	1	Control visual y sin registro	10	90			
					Presencia de contaminantes en la tina de zinc	7	Control visual y sin registro	8	504			

Fuente: Colmenares, (2018).

Cuadro 16. Análisis de modos y efectos de falla del Galvanizado (cont.)

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS POTENCIALES (AMEF DE PROCESOS)

ITEM: Galvanizado

EQUIPO CENTRAL: Coordinador de Calidad, Analista de Calidad, Coordinador de Producción y el Coordinador de Mantenimiento

NÚMERO DE AMEF: CAL-001

PÁGINA: 5 de 5

PREPARADO POR: María Colmenares

FECHA DEL AMEF: Septiembre 2018

FUNCIÓN DEL PROCESO	REQUERIMIENTO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL	SEVERIDAD	CAUSA DE LA FALLA POTENCIAL	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PARA LA DETECCIÓN	DETECCIÓN	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABLES	RESULTADOS ACCIONES
Galvanizado	Calidad del recubrimiento de zinc	Capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación	Pérdida de materia prima (8) / Reclamos del cliente externo (9) / Retrabajo (8) / Retraso en la entrega del producto (5)	9	Bajo nivel de zinc en la tina	7	Control visual y sin registro	8	504			
					Falla en sistema de combustión del horno de zinc	3	Control visual	7	189			
					Falla en equipo de medición (pirómetro)	3	Control visual	6	162			

Fuente: Colmenares, (2018).

Una vez obtenidos los valores del número de prioridad de riesgo para cada una de las causas de falla potencial evidenciadas en el cuadro 15, siendo la de mayor valor de seiscientos cuarenta y ocho (648), se realizó un análisis mediante el diagrama de Pareto para determinar donde se concentran las causas más relevantes en relación al nivel del NPR, el cual se evidencia a continuación en el gráfico 15:

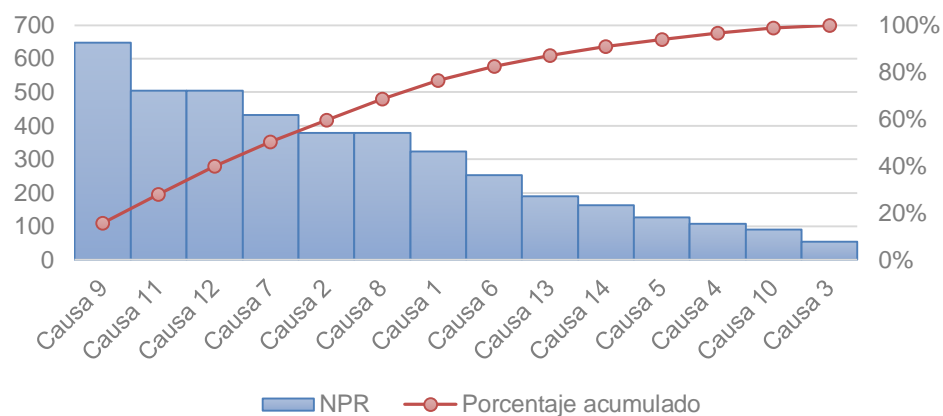


Gráfico 15. Diagrama de Pareto. Fuente: Colmenares, (2018).

Según el gráfico 15, los resultados fundamentados en el principio de Pareto arrojan que, el problema está asociado a ocho (8) de las causas de la falla potencial que presentan valores de NPR altos y medios, las cuales son: la mala condición de la piedra de inmersión de la tina de zinc, presencia de contaminantes y bajo nivel en la tina de zinc, concentración de la solución de sales, falta de limpieza de la tina de ácido, temperatura fuera de especificación en la tina de zinc, concentración del ácido de la tina por debajo del límite de especificación inferior y ducha de lavado con boquillas tapadas. De ahí que, las mismas son las consideradas las más críticas y de alta prioridad para ser tomadas en cuenta en el diseño del plan de mejoras en base a los controles utilizados en el proceso.

Diseño de un plan de mejoras de la calidad del recubrimiento de zinc con fundamento en el control y reducción de fallas en una línea de galvanizado de una empresa manufacturera de alambres ubicada en el estado Carabobo

En este mismo orden de ideas, una vez evaluadas las distintas causas que afectan la calidad del recubrimiento de zinc mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas y seleccionadas por medio del diagrama de Pareto, se presentan las propuestas de mejoras basadas principalmente en los controles de proceso actuales, mediante una lista de planes de acción expuesta en una matriz 5W2H, donde son descritas las respuestas a siete (7) preguntas, ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Cuándo?, ¿Dónde?, ¿Por qué?, ¿Quién?, ¿Cuánto?. A través de la metodología 5W2H se registró de una manera ordena, sistemática y precisa las actividades de mejoras mostradas a continuación en el cuadro 17.

Cuadro 17. Plan de mejoras

Definir Mejoras	¿Qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Por qué?	¿Quién?	¿Cuánto?
Implementación de control de proceso para la verificación de piedra de inmersión de la tina de zinc	Divulgación de la importancia que tiene la piedra de inmersión en el proceso	Establecer charlas informativas y/o reuniones durante las jornadas laborales	Inmediato	Galvanizado	En el proceso se desconoce sobre la importancia que tiene la adecuada inclinación y profundidad al momento de la inmersión del alambre en el baño, el cual depende de este equipo	Departamento de Calidad	N/A
	Inclusión en el plan de mantenimiento	Establecer frecuencias de chequeos mediante formatos					
Establecimiento de frecuencia en la limpieza de la tina de zinc	Estandarización del procedimiento	Elaboración de diagrama de proceso	Inmediato	Galvanizado	Evitar confusiones y errores	Departamento de Calidad	N/A
		Elaborar formato de control					
Establecimiento de método de medición para el nivel del zinc en la tina	Estandarización del proceso de medición	Elaborar formato de control	Inmediato	Galvanizado	Para garantizar que el alambre tenga el contacto adecuado con el zinc y se pueda dar un buen recubrimiento	Departamento de Calidad	N/A
Implementación del control de proceso para la determinación de la concentración de la solución de sales	Estandarización del proceso de determinación de la concentración de la solución de sales	Elaborar formato de control	Inmediato	Galvanizado	Porque se garantiza la calidad del fundente y la disminución del consumo de zinc como también menor generación de dross, cenizas y humos, lo que ocasiona mayor calidad del galvanizado y se traduce en menos rechazo.	Departamento de Calidad	N/A

Fuente: Colmenares, (2018).

Cuadro 17. Plan de mejoras (cont.)

Definir Mejoras	¿Qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Por qué?	¿Quién?	¿Cuánto?
Establecimiento de frecuencia en la limpieza de la tina de ácido	Estandarización de la medición de hierro presente en la tina	Determinación de hierro en laboratorio	Inmediato	Galvanizado	Evitar confusiones y errores, al aumentar la concentración de hierro disminuye la eficacia del baño de decapado	Departamento de Calidad	N/A
Redefinición de parámetros de control en la tina de zinc	Estandarización del proceso de medición	Ajuste de parámetros de control mediante formato	Inmediato	Galvanizado	En el proceso se tiene un rango definido muy amplio y es necesario llevarlo a los rangos óptimos de operación, para garantizar así un buen galvanizado y evitar: -Si la temperatura está por debajo del rango óptimo: genera menor escurrimiento y baja la fluidez del baño; -Si la temperatura está por encima del rango óptimo: genera mayor formación de dross y menor vida útil de la tina	Departamento de Calidad	N/A
Definición de frecuencia para la determinación de la concentración del ácido, ajuste en rango	Estandarización del procedimiento	Elaborar formato de control	Inmediato	Galvanizado	Evitar confusiones y errores	Departamento de Calidad	N/A
Definición de control para chequeo de boquillas de la tina de lavado	Estandarización del proceso de medición	Establecer charlas informativas del objetivo de la etapa	Inmediato	Galvanizado	En el proceso se desconoce la importancia de esta etapa, cuyo objetivo principal es evitar el arrastre de la solución ácido a la tina de sales. El arrastre de hierro reduce la vida de la solución y mayor generación de dross.	Departamento de Calidad	N/A
		Elaborar formato de control					

Fuente: Colmenares, (2018).

Implementación de control de proceso para la verificación de piedra de inmersión de la tina de zinc

Para la realización de las charlas y/o reuniones se propone un modelo de formato para el registro de los encuentros llevados a cabo cuyo objetivo radica en la verificación de la asistencia del personal y que quede evidencia de la divulgación de la importancia de la etapa del proceso.

Cuadro 18. Modelo de registro de las charlas y/o reuniones

Fecha: _____	
Lugar: _____	
Hora inicio _____	Hora fin _____
Tema a tratar:	
Objetivo de la charla y/o reunión:	
Puntos tratados:	Responsables:
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
Participantes	
Apellido y Nombre	Firma
1.- _____	_____
2.- _____	_____
3.- _____	_____
4.- _____	_____
5.- _____	_____
6.- _____	_____
7.- _____	_____
8.- _____	_____
9.- _____	_____
10.- _____	_____

Fuente: Colmenares, (2018).

Por su parte, con la incorporación al plan de mantenimiento de la piedra de inmersión como parte de la tina de zinc, permitirá la realización de chequeos y verificaciones constantes de las condiciones de la misma, es decir, un mejor seguimiento, lo que ayudará a establecer la vida útil de la piedra de inmersión, como también, la cantidad mínima a tener en inventario, garantizando de esta manera que el alambre se sumerja con la inclinación adecuada para un mejor recubrimiento con zinc.

Establecimiento de frecuencia en la limpieza de la tina de zinc

En cuanto a la limpieza de la tina de zinc, se elaboró un formato, cuadro 19, donde se establece la frecuencia de la limpieza de la tina y su registro una vez realizada, al igual de la cantidad generada de cenizas y dross. Seguidamente en el cuadro 20, se muestra el diagrama de proceso propuesto donde se establecen cada una de las actividades a seguir para dicha limpieza lo que permitirá la estandarización del método de trabajo.

Cuadro 19. Formato de registro para limpieza de tina de zinc

		Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____	Total
Cantidad generada	Cenizas (Kg)						
	Dross (Kg)						
Realizado por							

Fuente: Colmenares, (2018).

Cuadro 20. Diagrama de proceso – Limpieza de tina de zinc

Pag 1 de 1

RESUMEN						
	Actual		Propuesto		Diferencias	
	No	Tiempo	No	Tiempo	No	Tiempo
Operaciones			10	29		
Transportes			5	10		
Inspecciones			1	1		
Demoras						
Almacenes						
Distancia recorrida	mts.		7 mts.		mts.	
Tiempo total (min)			40			

Nombre del Proceso: Galvanizado - Limpieza de tina de zinc

Hombre [X] Material []

Se inicia en: Tina de zinc

Se termina en: Tina de zinc

Hecho por: María Colmenares. Fecha: Sep18

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [] Propuesto [X]	Operación Transporte Inspección Demora Almacenaje	Distancia en mts	Cantidad (Kg)	Tiempo (min)	ANÁLISIS Por que?				OBSERVACIONES	ACCIÓN					
						Que es?	Donde es?	Cuándo?	Quién?		Cómo?	Eliminar	Combinar	Cambiar		
														Secuencia	Lugar	Persona
1.- Colocar los recipientes en el borde de la tina		○→□D▽	1		3					x	Mediante el montacargas					
2.- Sumergir la varilla con extremo plano y remover el dross de paredes y fondo de tina		●→□D▽			10											
3.- Retirar la varilla con extremo plano, una vez removido completamente el dross		●→□D▽			1											
4.- Sumergir la pala con red metálica y capturar el dross		●→□D▽			2					x	La pala es colocada en el soporte de la tina para poder realizar los movimientos					
5.- Levantar la pala con el dross y escurrir dentro de la misma tina		●→□D▽			3											
6.- Extraer la pala y colocar el dross dentro de los recipientes		●→□D▽			3											
7.- Llevar los recipientes al estante para su enfriamiento		○→□D▽	1		2					x	Mediante el montacargas					
8.- Colocar la tolva vacía cercana a la tina de zinc		○→□D▽	1		3					x	Mediante el montacargas					
9.- Sumergir la pala con agujeros en la tina para remover la ceniza y desperdicios que se encuentra en la superficie del baño		●→□D▽			2					x	La pala es colocada en el soporte de la tina para poder realizar los movimientos					
10.- Levantar la pala con la ceniza de la tina y escurrir dentro de la misma tina		●→□D▽			2											
11.- Extraer la pala y colocar la ceniza dentro de la tolva		●→□D▽			3											
12.- Verificar que el baño se encuentre limpio		○→■D▽			1											
13.- Llevar la tolva y los recipientes para el área de pesaje		○→□D▽	2		1					x	Mediante el montacargas					
14.- Pesarse por separado la tolva y luego los recipientes		●→□D▽			2											
15.- Llenar formato de control de la realización de la limpieza y cantidad generada		●→□D▽			1											
16.- Llevar la tolva y los recipientes al área de almacenaje		○→□D▽	2		1					x	Mediante el montacargas					

Fuente: Colmenares, (2018).

Establecimiento método de medición para el nivel del zinc en la tina

Se elaboró un formato para el registro de la información recolectada al momento de realizar la medición del nivel de la tina zinc, aunque actualmente existe el dispositivo y el método de trabajo, el operador no registra dicha información y sólo es informado cuando el nivel es bajo, el cuadro 21 se aprecia el formato.

Cuadro 21. Formato de control de nivel del baño de la tina de zinc

	Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____	Día: Viernes Fecha: _____
Nivel mínimo (m)					
Nivel (m)					
Realizado por					

Fuente: Colmenares, (2018).

Implementación del control de proceso para la determinación de la concentración de la solución de sales

Inicialmente se propone definir la coloración que se produce en el baño de sales con el respectivo significado de dichos colores, mostrado en el cuadro 22, es decir, lo que indica la coloración del baño, para su posterior notificación al personal, lo que evitaría de esta manera que el control visual no sea a juicio de la experiencia del operador y además todo el personal estaría informado y con conocimiento del proceso.

Cuadro 22. Calidad del baño de sales según su color

Coloración de la solución	Indicador
Gris claro	Solución está dentro de especificación
Marrón-rojo	Presencia de hierro como hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Puede indicar pH muy alto.
Marrón-verde (oscuro)	Presencia de hierro en exceso disuelto en forma de cloruro ferroso FeCl_2 .

Fuente: Colmenares, (2018).

Seguidamente se propone la recolección de muestras del baño de sales según frecuencia establecida, para realizar la determinación en laboratorio externo de la concentración y el pH de sales, y a su vez de hierro presente en la solución. Los parámetros establecidos responden a: la solución de sales debe mantener una concentración aproximada de 500g/L, un ph comprendido entre 3 y 4,5; y para la cantidad de hierro presente realizar pruebas hasta determinar y definir el valor permitido de concentración de hierro en la solución. Para ello, se elaboró un formato, cuadro 23, de control para el registro de la determinación de la concentración de la solución del baño de sales, debido a que dicha etapa juega un papel muy importante en el proceso de galvanizado.

Cuadro 23. Formato de control del baño de sales

Día	Fecha	N° muestra	[Sales] (g/L)	pH	[Fe] (g/L)	Cumplimiento de parámetro		Cantidad a agregar en tina		N° muestra	[Sales] (g/L)	pH	[Fe] (g/L)	Cumplimiento de parámetro	
						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Sales	H ₂ O					Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Martes						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Jueves						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Martes						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Jueves						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Martes						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Jueves						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Martes						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
Jueves						Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>							Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>

Fuente: Colmenares, (2018).

Establecimiento frecuencia en la limpieza de la tina de ácido

Se propone realizar el análisis primeramente de la concentración del hierro presente en la muestra en laboratorio externo, el cual no debe superar los 80g/L, debido a que en dicho proceso se elimina el óxido y la cascarilla de la superficie del alambre siendo los principales contaminantes el óxido ferroso o calamina FeO, óxido férrico Fe₂O₃ y óxido ferroso férrico Fe₃O₄ los cuales al ácido atacar la superficie se eliminan y se van generando los cloruros ferrosos y férricos disminuyendo la eficacia del decapado. Una vez determinado el periodo en el que el baño se agota químicamente también se propone estudiar el consumo de ácido en el mismo periodo para así poder establecer la frecuencia de limpieza del baño de decapado y garantizar que el alambre quede químicamente limpio sin que llegue a atacar la superficie del alambre, por lo que se propone de igual manera la adición de inhibidores en la solución 1,4 g/L.

Definición de frecuencia para la determinación de la concentración del ácido

Se propone que la recolección de muestras del baño de decapado atienda a una frecuencia de dos días por semana para poder observar la tendencia de la concentración de ácido y así mantenerla en el rango establecido. Dicho rango se plantea a que sea evaluado para tomar en cuenta la concentración de hierro presente en la misma solución y ajustarlo a razón desde el diecisiete por ciento (17%) de límite superior hasta el diez por ciento (10%) de límite inferior. Es por ello, se elaboró un formato, cuadro 24, de control para el registro de la determinación de la concentración de la solución del baño de ácido.

Cuadro 24. Formato de control del baño de ácido

Día	Fecha	N° muestra	[HCl] (%v/v)	[Fe] (g/L)	Cumplimiento de parámetro	Cantidad a agregar en tina		N° muestra	[HCl] (%v/v)	[Fe] (g/L)	Cumplimiento de parámetro
						H ₂ O	HCl				
Martes					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Jueves					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Martes					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Jueves					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Martes					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Jueves					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Martes					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Jueves					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Martes					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Jueves					Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Fuente: Colmenares, (2018).

Redefinición de parámetros de control en la tina de zinc

La temperatura juega un rol muy importante en el baño de zinc para el adecuado galvanizado del alambre, es decir, la apropiada limpieza permite que ocurra la reacción entre el alambre y el zinc fundido formándose las capas de Zn-Fe de composición variable en la interfase, es por ello que la parte externa del recubrimiento tendrá la misma composición que el baño si la reacción ha sido controlada adecuadamente. Es por esto que, el problema radica en la variación de la temperatura, donde sí se encuentra por debajo del rango óptimo: genera menor escurrimiento y baja la fluidez del baño y si la temperatura está por encima del rango óptimo genera mayor formación de dross y menor vida útil de la tina

Con el fin de mantener una temperatura constante y uniforme durante las jornadas de trabajo se propone ajustar el rango de medición a una temperatura de cuatrocientos cuarenta grados centígrados (440°C) a cuatrocientos sesenta grados centígrados (460°C), donde el rango óptimo de trabajo debe ser en los cuatrocientos cincuenta grados centígrados (450°C), es por ello, se elaboró un formato de control, mostrado en el cuadro 25,

donde los operadores de producción deberán chequear la temperatura del baño tres (3) veces por turno.

Cuadro 25. Formato de control de temperatura baño zinc

Fecha - Semana _____

Temperatura (°C)	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes			Sábado			Domingo			
	am	pm	am	am	pm	am	am	pm	am	am	pm	am	am	pm	am	am	pm	am	am	pm	am	
465																						
464																						
463																						
462																						
461																						
460																						
459																						
458																						
457																						
456																						
455																						
454																						
453																						
452																						
451																						
450																						
449																						
448																						
447																						
446																						
445																						
444																						
443																						
442																						
441																						
440																						
439																						
438																						
437																						
436																						
435																						

Realizado por Turno 1	Realizado por Turno 1	Realizado por Turno 1	Realizado por Turno 1	Realizado por Turno 1	Realizado por Turno 1	Realizado por Turno 1
Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2

Fuente: Colmenares, (2018).

Definición de control para chequeo de boquillas de la tina de lavado

Se propone inicialmente realizar charlas a los operadores de la línea de galvanizado sobre la importancia de la etapa de lavado, el cual radica en la necesidad de evitar que se arrastren contaminantes como de ácido e hierro a etapas posteriores, lo que generaría la reducción de vida de la solución de

sales y mayor generación de dross en la tina de zinc. De igual manera, se propone la implementación de un formato de control, mostrado en el cuadro 26, para la realización de la verificación de las boquillas y del cambio de agua de la tina dos veces por semana para garantizar así que el alambre se someta a una limpieza en agua limpia y remover los residuos de cloruro de hierro proveniente del baño de ácido.

Cuadro 26. Formato de control de limpieza boquillas – tina de lavado

Día	Fecha	Verificación de boquillas	Cambio de agua en la tina	Realizado por
Lunes		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Miércoles		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Lunes		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Miércoles		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Lunes		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Miércoles		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Lunes		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Miércoles		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Lunes		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Miércoles		Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	

Fuente: Colmenares, (2018).

Evaluación económica del plan de mejoras propuesto

Se realizó el análisis económico de la propuesta de mejoras, con la intención de determinar la rentabilidad de la inversión que demanda su implementación, mediante la técnica de Análisis de Costo/Beneficio, la cual compara los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del plan de mejoras, como también, mediante la Tasa Interna de Retorno (TIR) definida por Canales (2015) como “la tasa de interés a la cual se debe

descontar los flujos de efectivos generados por el proyecto a través de su vida económica para que estos se igualen con la inversión” (p. 114) y mediante el Valor Presente Neto (VPN o VAN) descrita por Mete (2014) como “procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión”.

Asimismo, Fernández (2007) menciona que existen criterios para evaluar la inversión de proyectos independientes, la cual se especifican en el siguiente cuadro:

Cuadro 27. Criterios de aceptación

Relación Beneficio/Costo (B/C)	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Valor Presente Neto (VPN o VAN)
-B/C >1, se elige el proyecto	-K = TIO (Tasa Interna de Oportunidad)	-VAN > 0, se elige el proyecto
-B/C < 1, no se elige el proyecto	-TIR > K, se elige el proyecto	-VAN < 0, no se elige el proyecto
-B/C = 1, no hay ganancia	-TIR < K, no se elige el proyecto	-VAN = 0, no se elige el proyecto
	-TIR < K, no se elige el proyecto	
	Donde, Tasa Interna de Oportunidad (TIO) es la tasa mínima que se está dispuesto aceptar.	

Fuente: Colmenares, (2019). Elaborado con información tomada de Fernández (2010).

Para el cálculo de los costos generales, se consideraron los requerimientos y materiales necesarios para realizar las mejoras según aplique el caso, obteniendo de esta manera el valor estimado de la inversión inicial mostrado en el cuadro 28.

Cuadro 28. Costos generales de la propuesta

Mejora	Requerimiento	Costo (Bs)
Implementación de control de proceso para la verificación de piedra de inmersión de la tina de zinc	Resma hojas blancas	240.000
	Charlas	
Definición de control para chequeo de boquillas de la tina de lavado	Toner de impresión (recarga)	840.000
Implementación del control de proceso para la determinación de la concentración de la solución de sales	Servicio Laboratorio Externo: Análisis de muestras	7.200.000
	Determinación de: concentración sales, hierro / pH	
Establecimiento de frecuencia en la limpieza de la tina de ácido	Servicio de traslado de muestras al laboratorio	120.000
	-	
	Inhibidor de decapado	1.350.000
Total (Bs)		9.750.000

Fuente: Colmenares, (2019).

En el cuadro 28, se muestra la inversión requerida para la implementación de cuatro (4) mejoras, donde las charlas serán realizadas con personal interno de la empresa y las determinaciones analíticas estarán realizadas por un laboratorio externo certificado que presta servicios de análisis y caracterización de muestras a distintas empresas.

Cabe destacar que, la propuesta de mejoras contribuye en la reducción del consumo de zinc asociado al incumplimiento de requisitos del ensayo de recubrimiento del alambre galvanizado, que actualmente dicho consumo corresponde en promedio mensual del ochenta por ciento (80%) de zinc por encima respecto al requerido, lo que genera una pérdida a la empresa en bolívares mostrada en el cuadro 29.

Cuadro 29. Consumo de zinc actual

Consumo actual de zinc por encima respecto al requerido (%)	Costo Zinc (Bs/Kg)	Producción (Kg)	Gastos en Consumo zinc actual (Bs)	Gastos en Consumo zinc requerido (Bs)	Pérdida actual de zinc (Bs)
80	24.000	59.096,9	114.884.373,6	63.824.652,0	51.059.721,6

Fuente: Colmenares, (2019).

Es por ello que, con la implementación de las propuestas permitirá la mejora en la calidad del recubrimiento de zinc del alambre galvanizado y por consiguiente la reducción del consumo de zinc a un valor menor del ochenta por ciento (80%) respecto al requerido, lo que se traduce en ahorro para la empresa. A continuación, se muestra en el cuadro 30, el flujo de caja, indicando la estimación de los ingresos y egresos durante un (01) año y en el cuadro 31, los resultados de los indicadores que dieron fundamento al análisis económico de las propuestas de mejoras en el proceso de galvanizado que repercute en la calidad del recubrimiento de zinc.

Cuadro 30. Flujo de caja

Mes	Ingresos	Egresos		Flujo de caja (Bs)
	Ahorro de zinc (Bs)	Inversion (Bs)	Servicio Laboratorio / Inhibidor decapado (Bs)	
0	-	-9.750.000,00	-	-9.750.000,00
1	13.898.997,05	-	8.550.000,00	5.348.997,05
2	13.486.155,56	-	11.115.000,00	2.371.155,56
3	14.174.224,72	-	12.226.500,00	1.947.724,72
4	19.857.675,99	-	15.894.450,00	3.963.225,99
5	20.366.847,17	-	17.483.895,00	2.882.952,17
6	26.731.486,90	-	20.980.674,00	5.750.812,90
7	28.320.926,67	-	25.176.808,80	3.144.117,87
8	31.861.042,50	-	30.212.170,56	1.648.871,94
9	35.401.158,33	-	33.233.387,62	2.167.770,72
10	43.852.367,80	-	34.230.389,24	9.621.978,56
11	43.852.367,80	-	34.572.693,14	9.279.674,67
12	44.290.891,48	-	34.814.701,99	9.476.189,49

Fuente: Colmenares, (2019).

Cuadro 31. Evaluación de la propuesta de mejora

Indicadores	Resultados
Tasa Interna de Oportunidad (TIO)	16%
Valor Actual (VA)	Bs. F 21.319.413,37
Inversión	-9.750.000
Valor Presente Neto (VPN)	Bs. F 11.569.413,37
Tasa Interna de Retorno (TIR)	38%
Relación Costo Beneficio (B/C)	2,19

Fuente: Colmenares, (2019).

A través de los valores obtenidos de los indicadores evaluados, mostrados en el cuadro 31, se tiene que el Valor presente Neto (VPN) resultó

mayor a cero, lo cual indica que se elige el proyecto, ya que es capaz de cubrir el costo de la deuda. La Tasa Interna de Retorno (TIR) arrojó un treinta y ocho por ciento (38%) lo que se considera igualmente aceptable el proyecto, debido a que es mayor que la Tasa Interna de Oportunidad (TIO) lo que garantiza cubrir la inversión y el costo financiero. De igual manera se considera las propuestas por medio de la relación costo beneficio porque el resultado fue de dos punto diecinueve (2,19), lo que significa que los beneficios superan los costos. En base a lo antes expuesto, se puede concluir que la implementación de las mejoras propuestas en el proceso de galvanizado es viable económicamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Una vez analizada la información y presentado los resultados de este estudio según las dimensiones establecidas en el cuadro de operacionalización se llegó a una serie de conclusiones expuestas a continuación tomando en cuenta los objetivos planteados.

En relación al indicador de los ensayos realizados al alambre galvanizado, se tiene que actualmente el ensayo de recubrimiento de la capa de zinc a diferencia de los ensayos a la tracción, ductilidad y de apariencia de la superficie del alambre, es el que presenta alteraciones en los resultados, obteniendo ensayos aprobados desde un cincuenta y un por ciento (51%) hasta un setenta y nueve por ciento (79%), lo que ha generado rechazos internos del producto por incumplimiento a las especificaciones de normas y en consecuencia levantamiento de no conformidades que no han podido ser resueltas.

Con respecto a la producción realizada de alambre galvanizado asociada a los ensayos aprobados de recubrimiento, se tiene que actualmente no presentan una relación, la producción puede variar drásticamente de un mes a otro mientras que los ensayos aprobados han variado a pesar que tienden a mantenerse de un mes a otro en un promedio del setenta y tres por ciento (73%).

Del mismo modo, se evidenció que los cuatro tipos de alambres procesados simultáneamente en la línea de galvanizado presentan rechazos por incumplimiento de parámetros del ensayo de recubrimiento, siendo el alambre galvanizado calibre 16 y el alambre galvanizado calibre 12 los de mayor número de rechazos.

En cuanto a las verificaciones y validaciones que se le realizan actualmente a la materia prima utilizada en el proceso de galvanizado se tiene que se han mantenido en los criterios de aceptación de las normas, siendo validado la pureza del zinc, y verificado la resistencia y dimensiones del alambre trefilado.

Por su parte, se determinó en la etapa del baño de ácido que la concentración se ha estado manteniendo en el límite inferior de trabajo y que no cuentan con una limpieza definida para la tina, mientras que, para la etapa del baño de zinc, la temperatura ha presentado puntos fuera del rango definido. Asimismo, se encontró que el consumo de zinc actual es mayor respecto al consumo requerido y la generación de escoria excede a los valores teóricos.

Por otro lado, se evidenció que el personal operativo conoce y tiene experiencia en el proceso productivo, las actividades a ejecutar y saben qué hacer con las verificaciones de los puntos de control, a diferencia de la capacitación que los resultados obtenidos mediante el cuestionario aplicado arrojaron que la mayoría alegan que no cuentan con refrescamiento constantes de inducciones sobre los procedimientos y la calidad de los productos.

Se constató por medio del método defectos por millón de oportunidades (DPMO) que la eficiencia del proceso se encuentra aproximadamente en un noventa y tres por ciento (93%) con un nivel sigma del tres punto cero ocho (3,08), es decir, que por cada millón de alambre galvanizado fabricado, cincuenta y siete mil trescientos dieciséis (57.316) tendrán una capa de zinc fuera de especificaciones lo que refleja que dicha desviación para la empresa puede representar en pérdida de tiempo, materiales, satisfacción de sus clientes y utilidades.

Se evaluó el proceso de galvanizado mediante la aplicación del análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) y se definió un único modo de falla potencial, siendo el de la capa de zinc fuera del mínimo requerido en especificación debido a que es la manera en que el proceso puede fallar para cumplir con el requerimiento de la calidad del recubrimiento de zinc. Del mismo modo, fueron definidos cuatro (4) efectos de la falla potencial, seleccionando el de mayor severidad para los cálculos, catorce (14) causas de la falla potencial y se determinó que la mayoría de ellas no cuentan con históricos de registros en los controles actuales de proceso.

Se determinó el número de prioridad en riesgo (NPR) para cada causa de falla potencial, obteniendo como resultado valores entre un rango de cincuenta y cuatro (54) y de seiscientos cuarenta y ocho (648), siendo éste el valor más crítico, y por medio de Diagrama de Pareto se clasificaron las causas de mayor relevancia en la calidad del recubrimiento de zinc.

Se detectaron que ocho (8) de las causas representan mayor impacto en la falla potencial, las cuales se concentran principalmente en las operaciones de las etapas del baño de ácido, baño de sales y baño de zinc de la línea de galvanizado, por lo que las mismas deben ser atacadas y

mejoradas mediante planes de acciones para poder reducir los riesgos del modo de falla.

Se constató la necesidad de realizar el plan de mejoras en función a los controles actuales, donde las principales acciones fueron implementar charlas informativas durante las jornadas de trabajo, establecer frecuencias en las verificaciones de los parámetros de procesos, elaborar formatos de control para crear históricos de registros, y ajustar rangos de trabajo en los puntos de control, las cuales una vez sean implementadas repercutirán en la calidad del recubrimiento de zinc y por consiguiente, permitirá disminuir el levantamiento de no conformidades del alambre galvanizado, reducir las concesiones del producto, disminuir retrabajos por incumplimiento de especificaciones, reducir a menos del ochenta por ciento (80%) el consumo de zinc respecto al consumo requerido y por ende aumentar la producción.

De acuerdo al análisis económico se determinó que el plan de mejoras propuesto se considera rentable debido a los valores obtenidos de los indicadores: el Valor presente Neto (VPN) resultó mayor a cero, lo cual indica que se elige el proyecto; por su parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) arrojó un treinta y ocho por ciento (38%) lo que se considera igualmente aceptable el proyecto, debido a que es mayor que la Tasa Interna de Oportunidad (TIO) y en cuanto a la relación costo beneficio cuyo resultado fue de dos punto diecinueve (2,19) demuestra que los beneficios superan los costos.

Recomendaciones

Se sugiere realizar verificaciones y actualizaciones en los procedimientos de trabajos a fin de abarcar todas las operaciones ya que los

instructivos son guías de orientación que garantizan una mejor ejecución en las actividades y así la estandarizar completamente el proceso.

Por otro lado, se recomienda la retroalimentación constante con el personal operativo, refrescamientos de procedimientos y capacitación constante referente al proceso productivo y la calidad del producto con el fin de mejorar el conocimiento, el desempeño y garantizar así que todos estén orientados a la mejora de los procesos.

Se recomienda la implementación de las mejoras propuestas considerando el orden de prioridad establecido mediante el AMEF a fin de tener un mejor control en el proceso y poder así tomar acciones que permitan la reducción de fallas y la generación de no conformidades que se pueden convertir en grandes pérdidas de tiempo, materia prima y utilidad si no son atacadas debidamente.

Se sugiere una vez implementadas y completadas las acciones recomendadas adecuadamente determinar los resultados y los efectos de dichas acciones para luego ser registrados los nuevos rangos de severidad, ocurrencia, detección y calcular el indicador de prioridades (riesgos) de acciones resultantes (NPR), ya que el enfoque debiera ser siempre en el mejoramiento continuo.

Del mismo modo, se propone extender la aplicación de herramientas de calidad y control estadístico que permitan realizar estudios que detecten y jerarquicen las causas de las fallas para poder realizar planes de mejoras y solucionar cualquier tipo de problema.

Por último se recomienda continuar estudios referentes a la galvanización, debido a que es un proceso electroquímico muy amplio con gran cantidad de variables a considerar, desde las propiedades químicas de los materiales, las cuales no son tomadas en cuenta actualmente y que ayudaría a un mejor control y estandarizar del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Galvanizers Association (2016). **Inspección de productos de acero galvanizado en caliente**. [Publicación en línea] Consultado en abril 2017 en <https://goo.gl/t8OxYG>

American Galvanizers Association (2015). **Rendimiento de Productos de Acero Galvanizado en Caliente. En la Atmósfera, Suelo, Agua, Concreto y Más**. [Publicación en línea] Consultado en noviembre 2017 en goo.gl/aacnQD

Arias, F. (2012). **El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica**. 6ª edición. Caracas. Editorial Episteme, C.A.

Asociación Venezolana de Galvanizadores (2010). **Inicio y desarrollo de la producción de galvanizado general. Experiencia Venezolana**. Consultado en noviembre 2017 en goo.gl/6hCa4s

Asociación Venezolana de Galvanizadores (2016). **Proceso general**. Consultado en noviembre 2017 en <http://avgal.net/proceso-general/>

Bernal, J. (2013). AMFE: **Análisis modal de fallos y efectos** – guía y ejemplos de usos. [Publicación en línea] Consultado en <https://bit.ly/2KxhwHg>

Cabrejos, F. (2014, enero - junio). **La tesis de postgrado: concepción del marco teórico**. Pueblo Continente, Revista de Universidad Privada Antenor Orrego. Vol 25.

Canales, R (2015). **Criterios para la toma de decisión de inversiones**. Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas. UNAN-Managua.

Carro, R. y González, D. (2012). **Administración de la Calidad Total**. 8va edición. Editorial Nueva Librería. Argentina.

- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999). Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.860 (Extraordinaria). Diciembre 30, 1999.
- COVENIN 917 (2001). **Alambre trefilado de acero de bajo carbono usos generales** por Norma Venezolana FONDONORMA. 1ra revisión.
- COVENIN 851 (1996). **Materiales ferrosos. Alambre de acero de bajo carbono, cincado, para usos generales** por Norma Venezolana FONDONORMA. 1ra revisión.
- COVENIN 565 (2009). **Producto de hierro y acero. Determinación de las características del recubrimiento de zinc** por Norma Venezolana FONDONORMA. 1era revisión.
- Cuatrecasas, L (2010). **Gestión Integral de la Calidad. Implantación, control y certificación**. Profit editorial. Barcelona, España.
- Chrysler LLC, Ford Motor Company y General Motors Corporation (2008). **Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales**. Manual de Referencia. 4ª edición. Disponible en: goo.gl/bFdU2g
- Da Silva, T. (2017, junio). “Los retos y desafíos de la empresa del futuro”. **Revista Factor de Éxito, La clave está en la diferenciación**. Edición 8. República Dominicana. Disponible en: <https://bit.ly/2yO3bmO>
- Del Cid, A., Méndez, R. y Sandoval, F. (2011). **Investigación. Fundamentos y metodología**. 2ª edición. México: Pearson Educación.
- Fernández, S (2007). **Los proyectos de inversión**. Primera edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- García, F. (2016). **Plan de mejoramiento de la calidad a través del control y reducción de fallas en el área de terminados en Cepeda. Cía. Ltda**. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador.
- Guirigay, E. y LLanes, O. (2012). “Implementación del método análisis y efecto de fallas (AMEF) al proceso de obtención de agua destilada en el

laboratorio de control de proceso del Instituto Universitario de Tecnología de Cabimas (IUTC)". **Revista Expresión Tecnológica**. Vol 1. Pp 177-191.

Guillen, A. (2015). **Optimización de la efectividad global de los equipos (OEE) a través de estrategias de gestión de mantenimiento. Caso: Unidad II de la empresa Negroven, SA**. Universidad de Carabobo – Venezuela.

Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2009). **Control estadístico de calidad y seis sigma**. 2ª edición. McGrawHill. México.

Hernández R, Fernández C y Baptista P (2014). **Metodología de la investigación**. 6ta edición. McGrawHill. México

Herrera, A. y Fontavo, T. (2011). **Seis Sigma, Métodos estadísticos y sus aplicaciones**. Consultado en noviembre 2017 en <https://goo.gl/EZpZnX>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE, 2004.

ISO 9004 (2009). **Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad**. (3ra edición). International Organization for Standardization

ISO 9000 (2005). **Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario**. International Organization for Standardization

Juran, J. (1990). **Juran y la planificación para la calidad**. Editorial Díaz de Santos, Madrid.

Koontz, H., Wehrich, H y Cannice, M. (2012). **Administración una perspectiva global y empresarial**. 14 edición. Mc Graw Hill. México.

León, B. (2015). **La importancia de la calidad en las empresas**. Comunidad de emprendedores. [Publicación en línea] Consultado en <http://cort.as/-ldLa>

Ley Orgánica del Sistema Venezolano para la Calidad. Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.555 de fecha 23 de octubre de 2002.

Lucero, M. (2013). **Fundamentos de Metodología de la Investigación**. 3ª edición. Venezuela: Gráficas Tao.

Mete, M (2014). **Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión**. Vol 7: 67-85. Revista del Instituto de Investigación en ciencias Económicas y Financieras. Universidad La Salle. Bolivia.

Monterroso, E. (2016). **Competitividad y Estrategia: conceptos, fundamentos y relaciones**. Revista del Departamento de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Luján, Argentina. Vol. 3 Nro. 3:4-26.

Murati, F y Pozo, J (2013). **Hacia un nuevo modelo para el ejercicio del liderazgo en las empresas siderúrgicas**. Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista académica de economía N° 178. Disponible en <http://cort.as/-lYol>

Nunes, P. (2012). **Gestión**. Ciencias económicas y sociales. [Publicación en línea] Consultado en <http://cort.as/-lf6K>

Parella, S. y Martins, F. (2012). **Metodología de la investigación cuantitativa**. Fedupel. Caracas.

Pérez, M, Peláez, J y Carrión, A. (2007). **La capacidad de procesos como métrica de calidad para características cualitativas**. Universidad Politécnica de Valencia, España. Disponible en <http://cort.as/-ldMJ>

Ramírez, F. (2014). **Propuesta de mejoras para reducir el consumo de zinc en la línea de galvanizado # 01 de la empresa Vicson S.A.** Universidad de Carabobo – Venezuela.

Rodríguez, H. (2015). **Protección del acero por galvanizado**. Tutorial N° 104. Consultado en noviembre 2017 en goo.gl/Kcu6xR

Salazar, B. (2016). **Nivel Sigma y DPMO**. Consultado en noviembre 2017 en goo.gl/4nq9SC

Sánchez M., Contreras R., Pérez O., Del Rincón O. y Campos W. (2008, noviembre). “Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia” **Factores operacionales que afectan el comportamiento del acero galvanizado por inmersión en caliente**. Venezuela.

Zuluaga, P. (2016). **Aplicación de la metodología Six Sigma para solucionar problemas de calidad en una empresa metalmecánica**. Universidad de Medellín – Colombia.

ANEXOS

ANEXO A

Cuestionario aplicado a los operadores de producción

El contenido que presenta el cuestionario está relacionado con el desarrollo de una investigación titulada: **MEJORAS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO CON FUNDAMENTO EN EL CONTROL Y REDUCCIÓN DE FALLAS QUE REPERCUTA EN LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DEL ZINC. Caso: Empresa manufacturera de alambres.**

Por lo antes mencionado, su aporte es considerado significativo y de gran importancia para el desarrollo de este estudio. De allí que tus apreciaciones serán tratadas con un alto sentido de confidencialidad y sus respuestas deben estar basadas en la objetividad y con la mayor sinceridad posible para obtener resultados viables para el desarrollo de la investigación.

Agradecida de antemano por su colaboración
Ing. María Antonieta Colmenares.

Instrucciones

Lea detenidamente cada una de las preguntas que se le presentan a continuación y responda en base a:

1. Marque con una equis (X) en la opción que mejor considere.
2. No marque más de una opción la vez.
3. No dejar preguntas en blanco.

Ítem	Pregunta	Opción				
		5	4	3	2	1
		Siempre	Casi Siempre	A veces	Casi nunca	Nunca
1	Dispone de procedimientos y/o instructivos de trabajo que le guíen al momento de la ejecución de las actividades					
2	Recibe notificación referente a las no conformidades generadas					
3	Cuando se ordena una actividad y/o tarea sabe cómo debe ejecutarla					
4	Tiene capacitación respecto a la calidad del producto					
5	Constantemente recibe inducciones de procedimientos de trabajo					
6	Conoce que acciones aplicar para corregir las no conformidades					
7	Realiza chequeos a los parámetros de procesos					
8	Informa cuando algún parámetro de proceso está fuera de especificación					
9	Sabe que hacer para controlar el proceso productivo si algún parámetro de proceso se encuentra fuera de rango de especificación					

ANEXO B

Documento de validación del cuestionario aplicado a los operadores de producción de una empresa manufacturera de alambres.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

INSTRUMENTO PARA VALIDAR EL CUESTIONARIO DIRIGIDO A LOS OPERADORES DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE ALAMBRES

Aspectos a considerar:

1. Claridad: Redacción y precisión de los ítems.
2. Congruencia: Lógica interna del ítem con relación de los objetivos de la investigación.
3. Pertinencia: La relación que guarda cada ítem con la opción.

Ítem	Opción				Observaciones
	Excelente 4	Bueno 3	Regular 2	Deficiente 1	
1	✓				
2	✓				
3		✓			
4	✓				
5	✓				
6		✓			
7		✓			
8	✓				
9	✓				

Validado por: Zacarías Alcántara

C.I.: 9.761.418

Profesión: Ing. Agroindustriales

Lugar de trabajo: MC-Argemina

Cargo que desempeña: Asesor de Seminarios I y II

de la Maestría de Ingeniería Industrial

Firma: Zacarías Alcántara

Documento de validación del cuestionario aplicado a los operadores de producción de una empresa manufacturera de alambres (cont)

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

INSTRUMENTO PARA VALIDAR EL CUESTIONARIO DIRIGIDO A LOS OPERADORES DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE ALAMBRES

Aspectos a considerar:

1. Claridad: Redacción y precisión de los ítems.
2. Congruencia: Lógica interna del ítem con relación de los objetivos de la investigación.
3. Pertinencia: La relación que guarda cada ítem con la opción.

Ítem	Opción				Observaciones
	Excelente 4	Bueno 3	Regular 2	Deficiente 1	
1		✓			
2		✓			
3	✓				
4	✓				
5	✓				
6	✓				
7		✓			
8	✓				
9	✓				

Validado por: Ezequiel Gómez

C.I.: 3585786

Profesión: Ingeniería I Lugar de trabajo: Universidad de Carabobo

Cargo que desempeña: Coordinador de la Maestría en Industrial

Firma: 

**Documento de validación del cuestionario aplicado a los operadores de
producción de una empresa manufacturera de alambres (cont)**

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**INSTRUMENTO PARA VALIDAR EL CUESTIONARIO DIRIGIDO A LOS
OPERADORES DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA
MANUFACTURERA DE ALAMBRES**

Aspectos a considerar:

1. Claridad: Redacción y precisión de los ítems.
2. Congruencia: Lógica interna del ítem con relación de los objetivos de la investigación.
3. Pertinencia: La relación que guarda cada ítem con la opción.

Ítem	Opción				Observaciones
	Excelente 4	Bueno 3	Regular 2	Deficiente 1	
1		✓			
2	✓				
3	✓				
4	✓				
5		✓			
6		✓			
7	✓				
8	✓				
9	✓				

Validado por:

M. Sandoz

C.I.: 10.231.010

Profesión:

Ido Administrativa

Lugar de trabajo:

U.C. - D.A.C.S.

Cargo que desempeña:

Arconte de Suministro de Suministros

Firma:

M. Sandoz

ANEXO C

Coefficiente Alfa Cronbach del cuestionario aplicado a los operadores de producción de una empresa manufacturera de alambres.

		Ítems									Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Sujetos	1	5	5	5	5	3	5	5	5	5	43
	2	5	4	5	4	3	4	5	4	4	38
	3	5	4	5	4	2	4	5	5	5	39
	4	4	4	4	3	2	4	5	5	4	35
	5	4	3	4	2	1	3	5	5	5	32
S_i^2		0,24	0,4	0,24	1,04	0,56	0,4	0,0	0,16	0,24	
$\sum_{i=1}^k S_i^2$		3,28									
S_{total}^2		13,84									
k		9									
α		0,86									

126

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_{total}^2} \right] = 0,86$$

Puntuación

Alternativa	Rango
Siempre	5
Casi Siempre	4
A veces	3
Casi nunca	2
Nunca	1

Interpretación del coeficiente de Confiabilidad

Rango	α
Muy alta	0,81 a 1,00
Alta	0,61 a 0,80
Moderada	0,41 a 0,60
Baja	0,21 a 0,40
Muy baja	0,01 a 0,20

