



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO
DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE
GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA S. A.**

Esther Nohemí López Coloma

Asesorado por el Ing. Carlos Estuardo Caballeros García

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO
DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE
GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ESTHER NOHEMÍ LÓPEZ COLOMA

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ESTUARDO CABALLEROS GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 1 de agosto de 2014.




Esther Nohemí López Coloma

Guatemala 17 de marzo del 2015

Ing. Víctor Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
USAC
Presente

Por medio de la presente hago de su conocimiento que la estudiante Esther Nohemí López Coloma que se identifica con carné No. 200915490 de la Facultad de Ingeniería, USAC, de la Carrera de Ingeniería Química, se le ha aprobado el informe final de EPS titulado "EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDEDÚRGICA DE GUATEMALA S.A."

Por lo anterior quedo suscrito.

(f) 
Msc. Ing. Qco. Carlos Estuardo Caballeros García
Colegiado No. 721
Asesor



Guatemala, 24 de mayo de 2015.
Ref.EPS.DOC.398.05.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Rodríguez Serrano:

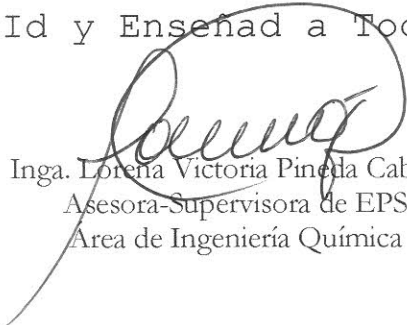
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Esther Nohemí López Coloma** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200915490**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA, S.A.”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Area de Ingeniería Química



c.c. Archivo
LVPC/ra



Guatemala, 24 de mayo de 2015.
Ref.EPS.D.265.05.15.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA, S.A."** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Esther Nohemí López Coloma, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra

Guatemala, 08 de septiembre de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.062.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **068-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Esther Nohemí López Coloma**.
Identificada con número de carné: **2009-15490**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

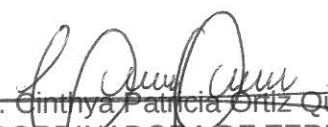
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE
GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE GALVANIZADO DE
LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA S.A.**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Carlos Estuardo Caballeros García**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Cynthia Patricia Ortiz Quiroa
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

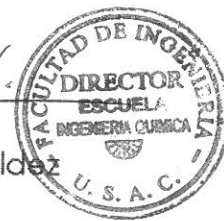


Ref.EIQ.TG.146.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la estudiante **ESTHER NOHEMÍ LÓPEZ COLOMA** titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA S.A."** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale

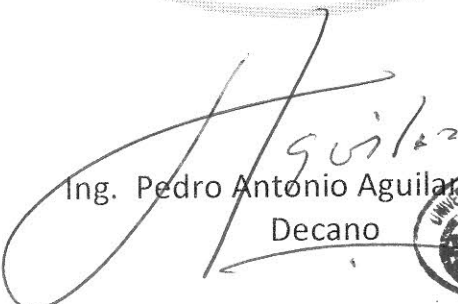




DTG. 542.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA MEJORA DE LA CALIDAD DEL ALAMBRE GALVANIZADO DE LA EMPRESA SIDERÚRGICA DE GUATEMALA S. A.**, presentado por la estudiante universitaria: **Esther Nohemí López Coloma**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el pilar fundamental de mi vida.
Mis padres	Hugo Fernando López Monzón y Nohemí Aracely Coloma, por su constante apoyo, amor, paciencia y oraciones.
Mi hermana	Annie Fernanda López Coloma, por ser mi mayor motivación.
Mis abuelas	Paula de Coloma y Luisa Monzón, por sus constantes oraciones.
Mis abuelos	Jacobo Coloma (q. e. p. d.) y Manuel López (q. e. p. d.).
Mis tíos, tías, primos y primas	Por estar siempre al pendiente de mí.
Mis amigos y amigas	Edy Payes, Maydelli Echeverria, Daniel Quezada, Ana Sylvia Ávila, Kimberlyn Ramírez, Gabriela Coyoy, Kevin Hernández, Susy Valdez, Jocelyn Leal, Shirley Chaclan, Andrea Tejeda, Carlos Quintana, Lourdes Ozaeta, Karin Corazón, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser el pilar fundamental de mi vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por abrirme puertas y forjarme para un mejor futuro.
Ing. Estuardo Caballeros García	Por abrir sus puertas para la realización de este proyecto.
Sidegua, S. A.	Por abrir sus puertas para la realización de este proyecto.
Compañeros del área de trefilación, laminación, control de calidad y tecnología de gestión de Sidegua, S. A.	Por abrir sus puertas, compartir sus conocimientos y por su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
Hipótesis	XXII
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Determinación del problema.....	2
1.3.1. Definición	2
1.3.2. Delimitación	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. El proceso de galvanización	5
2.1.1. Horno de recocido	6
2.1.2. Cascada de enfriamiento.....	6
2.1.3. Decapado	6
2.1.4. Tanque de enjuague.....	7
2.1.5. Mordentado o fluxado	7
2.1.6. Secado del flux	8
2.1.7. Cama de zinc.....	8
2.1.8. Enfriamiento.....	8

2.1.9.	Recolectoras	8
2.2.	Principales reacciones que se dan durante el proceso de galvanizado	9
2.3.	El revestimiento.....	10
2.3.1.	Espesor de los recubrimientos	10
2.4.	El rendimiento físico	11
2.4.1.	Cohesión	11
2.4.2.	Rigidez	11
2.5.	Resistencia contra la corrosión atmosférica.....	12
2.5.1.	Ambientes internos.....	12
2.5.2.	Alta temperatura.....	13
2.6.	Calidad e inspección	13
2.6.1.	Recubrimiento en gris opaco.....	13
2.6.2.	Manchas de óxido	14
2.6.3.	Aspereza general	16
2.6.4.	Sin uniformidad y drenaje (drenaje desigual)	17
2.6.5.	Grumos (grano)	18
2.6.6.	Corrosión blanca	19
2.6.7.	Manchas de flujo	20
2.6.8.	Puntos descubiertos	21
2.7.	Normas de referencia.....	22
2.7.1.	Normas brasileñas	22
2.7.2.	Normas ASTM.....	23
2.7.3.	Normas ISO.....	23
3.	METODOLOGÍA	25
3.1.	Variables	25
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	27
3.3.	Recursos humanos disponibles	27

3.4.	Recursos materiales disponibles	27
3.4.1.	Reactivos	28
3.4.2.	Cristalería	28
3.4.3.	Equipo	29
3.5.	Técnica cuantitativa	30
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	33
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	33
3.7.1.	Muestras en blanco de solución de flux.....	35
3.7.2.	Comprobación del flux con soluciones del proceso.....	35
3.7.3.	Comparación de pruebas de solución en blanco y pruebas con solución del proceso.....	36
3.7.4.	Comparación de la variación de concentración de cloruro de zinc y de amonio entre pruebas con solución en blanco y pruebas con solución del proceso	36
3.7.4.1.	Procedimiento para verificación de contenido de cloruro de zinc en el baño de sal flux.....	37
3.7.4.2.	Procedimiento de verificación de contenido de cloruro de amonio en el baño de sal flux.....	37
3.7.5.	Análisis de concentración de partículas de hierro..	38
3.7.6.	Monitoreo de la temperatura de secado del flux.....	39
3.7.7.	Procedimiento para análisis de muestra bajo la Norma ASTM A-90	40
3.8.	Análisis estadístico	40
3.8.1.	Promedio	40

3.8.2.	Desviación estándar	44
3.8.3.	Varianza	50
3.9.	Plan de análisis de los resultados	56
3.9.1.	Presentación técnica	56
3.9.2.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	56
3.9.3.	Programas utilizados para análisis de datos	56
4.	RESULTADOS.....	57
4.1.	Cantidad necesaria de muestras de materia prima para obtención de datos representativos	57
4.2.	Medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90	65
4.3.	Concentración de hierro en los tanques de decapado y concentración del flux en los días que se muestreó el calibre BGW-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90.....	67
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	69
6.	CRONOGRAMA	73
7.	PRESUPUESTO.....	75
7.1.	Reactivos	75
7.2.	Insumos.....	75
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES	79

BIBLIOGRAFÍA.....	81
APÉNDICES	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama del proceso de galvanizado	6
2.	Capas producidas por la reacción Fe-Zn	10
3.	Aspecto recubrimiento en gris opaco	14
4.	Visualización de manchas de óxido en el galvanizado.....	16
5.	Aspereza general	17
6.	Acabado sin uniformidad y drenaje desigual.....	18
7.	Aspecto de material galvanizado con grumos.....	18
8.	Corrosión blanca	20
9.	Apariencia con manchas de flujo	20
10.	Apariencia con puntos abiertos	21
11.	Técnica cuantitativa.....	30
12.	Curva de calibración para determinar la concentración del flux por medio del pH.....	59
13.	Curva de calibración para determinar la concentración del flux por medio de la densidad	60
14.	Curva de calibración para determinar la concentración del flux por medio de los grados Baumé.....	61
15.	Concentración del cloruro de zinc y amonio en función de los días	62
16.	Concentración del flux por medio de curva de calibración de pH en función de los días	63
17.	Concentración del flux por medio de curva de calibración de la densidad en función de los días.....	64
18.	Cronograma	73

TABLAS

I.	Definición operacional de las variables para la evaluación del proceso de galvanizado de alambre trefilado, para mejora de la calidad y aspecto en el producto terminado.....	25
II.	Reactivos utilizados en la investigación	28
III.	Cristalería utilizada en la investigación	29
IV.	Equipo de laboratorio utilizado en la investigación	29
V.	Definición de parámetros de operación del proceso de alambre trefilado galvanizado	33
VI.	Formato de cambio de temperatura en el secado del flux	39
VII.	Promedio de la concentración de hierro en los tanques de decapado y pH en el tanque de enjuague	41
VIII.	Promedio del pH del flux en función de la concentración de la solución en blanco y la solución del proceso	41
IX.	Promedio de la densidad del flux en función de la concentración de la solución en blanco y la solución del proceso	41
X.	Promedio de los grados Baume en función de la concentración de la solución en blanco	42
XI.	Promedio de la concentración del cloruro de zinc y cloruro de amonio en solución del proceso conforme al tiempo	42
XII.	Promedio del peso inicial y final del alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90.....	42
XIII.	Promedio del recubrimiento de zinc en el alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90.....	43
XIV.	Promedio de la concentración de hierro en los tanques de decapado de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para la medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90	43

XV.	Promedio de la concentración de flux de los días que se muestréo el calibre BWG-10, para la medición de pérdidas de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90	43
XVI.	Desviación estándar de la concentración de hierro en los tanques de decapado y pH del tanque de enjuague	44
XVII.	Desviación estándar del pH, densidad y grados Baumé del flux en función de la concentración en una solución en blanco	45
XVIII.	Desviación estándar del pH y densidad del flux del proceso en función de la concentración.....	45
XIX.	Desviación estándar de la concentración del cloruro de zinc y cloruro de amonio en solución del proceso conforme al tiempo.....	46
XX.	Desviación estándar del peso inicial y final del alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90	46
XXI.	Desviación estándar del recubrimiento de zinc en alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASM-A90.....	47
XXII.	Desviación estándar de la concentración de hierro en los tanques de decapado de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90	48
XXIII.	Desviación estándar de la concentración de flux de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90	49
XXIV.	Varianza de la concentración de hierro en los tanques de decapado y enjuague.....	50
XXV.	Varianza del pH, densidad y grados Baumé del flux en función de la concentración en una solución en blanco	51
XXVI.	Varianza del pH y densidad del flux del proceso en función de la concentración.....	51

XXVII.	Varianza de la concentración del cloruro de zinc y cloruro de amonio en solución del proceso conforme al tiempo	52
XXVIII.	Varianza del peso inicial y final del alambre BWG-10, analizando con la Norma ASTM-A90	52
XXIX.	Varianza del recubrimiento de zinc en el alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90.....	53
XXX.	Varianza de la concentración de hierro en los tanques de decapado de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90.....	54
XXXI.	Varianza de la concentración de flux de los días que se muestreó el calibre de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90.....	55
XXXII.	Cantidad de muestras de materia prima por módulo	57
XXXIII.	Concentración de hierro en los tanques de decapado.....	58
XXXIV.	pH en el tanque de enjuague después del decapado	58
XXXV.	Concentración del flux en función del pH en solución en blanco	59
XXXVI.	Concentración del flux en función de la densidad en solución en blanco	60
XXXVII.	Concentración del flux en función de los grados Baumé en solución en blanco	61
XXXVIII.	Concentración del cloruro de zinc y amonio en solución del proceso...	62
XXXIX.	Concentración del flux del proceso por medio de curva de calibración de pH	63
XL.	Concentración del flux del proceso por medio de curva de calibración de densidad	64
XLI.	Inspección visual del alambre al disminuir la temperatura de secado del flux	65
XLII.	Peso inicial, final y recubrimiento de zinc del alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90.....	66

XLIII.	Concentración de hierro en los tanques de decapado y concentración del flux en los días que se muestreó el calibre BWG-10, con base en la Norma ASTM-A90.....	67
XLIV.	Costo de reactivos.....	75
XLV.	Costo de insumos utilizados en el laboratorio	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Concentración
P	Densidad
S	Desviación estándar
E	Error muestral
°Be	Grados Baumé
°C	Grados Celsius
g	Gramos
L	Litros
mL	Mililitros
M	Molaridad
M.P	Muchos puntos
Z	Nivel de confianza
N	Normalidad
n	Número de datos observados
P.P	Pocos puntos
pH	Potencial de hidrógeno
X	Promedio
R.P	Regular cantidad puntos
T	Temperatura
Σ	Varianza
X_i	Valor de cada observación
X_n	Valor observado
P_q	Varianza constante

V

Volumen

GLOSARIO

Abrasión	Acción de quitar o remover algo mediante fricción.
Acero	Combinación de propiedades metálicas, compuesta de dos o más elementos metálicos de hierro, con una cantidad de carbono variable entre el 0,03 % y el 2,1 % en peso de su composición.
ASTM	American Society for Testing Materials, organización de desarrollo de estándares que sirve como un foro abierto para el desarrollo de normas internacionales.
BGW	British Imperial Standard Wire Gauge, medida de espesor.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
Decapado	Tratamiento superficial de metales que se utiliza para eliminar impurezas, como manchas, contaminantes inorgánicos, escoria de aleaciones de metales ferrosos, cobre, y aluminio.

Flux	Compuesto químico de cloruro de amonio y cloruro de zinc que sirve como mordiente en el proceso de galvanizado.
Fundente	Químico que sirve para, entre otras funciones, aislar del contacto del aire, disolver y eliminar los óxidos que pueden formarse y favorecer el “mojado” del material base por el metal de aportación de fundido, consiguiendo que el metal de aportación pueda fluir y se distribuya en la unión.
Galvanización	Procedimiento para recubrir piezas terminadas de hierro/acero mediante su inmersión en un crisol de zinc fundido a 450 °C. Tiene como principal objetivo evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental pueden ocasionar sobre el hierro. Esta actividad representa aproximadamente el 50 % del consumo de zinc en el mundo y, desde hace más de 150 años, se ha ido afianzando como el procedimiento más fiable y económico de protección del hierro contra la corrosión.

Inmersión	Inclusión de un sólido en un líquido, es el método de limpieza más versátil, particularmente se utiliza para la limpieza de piezas con formas irregulares, configuraciones cilíndricas y tubulares o cajas que no se puedan limpiar adecuadamente, utilizando sistemas de aspersion.
Metalurgia	Técnica para la obtención y tratamiento de los metales a partir de minerales metálicos. También estudia la producción de aleaciones y el control de calidad de los procesos.
Molaridad	Medida de la concentración en una solución, se define como la cantidad de soluto por unidad de volumen de disolución.
Mordentado	Proceso de limpieza de superficies, en la mayoría de los casos metal, por abrasión de capas de óxido superficiales o capas pasivas. Los mordentados se hacen por inmersión en soluciones ácidas o alcalinas, o por medio de tratamientos de plasma-ionización con un gas de proceso adecuado.
Normalidad	Medida de la concentración en una solución, relaciona los equivalentes químico o equivalentes gramo de soluto por cada litro de una solución.

Óxido	Compuesto binario que contiene uno o varios átomos de oxígeno (el cual, normalmente, presenta un estado de oxidación -2) y otros elementos.
Secado	Separación de pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido, con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo.
Titulación	Es un método de análisis químico cuantitativo en el laboratorio, que se utiliza para determinar la concentración desconocida de un reactivo conocido.
Trefilación	Operación de conformación en frío, consistente en la reducción de sección de un alambre o varilla haciéndolo pasar a través de un orificio cónico practicado en una herramienta llamada hilera o dado.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el proceso de galvanizado para mejorar de la calidad y aspecto del producto terminado. Para ello, se inició con un análisis estadístico de la materia prima, se determinó la cantidad de muestras que se deben tomar para muestreo sea representativo. También se realizaron análisis fisicoquímicos a los tanques de ácido, tanques de enjuague y tanque de flux, para verificar el funcionamiento correcto de los mismos. Se definieron parámetros de operación del proceso.

Se trabajó en el laboratorio con muestras de flux en blanco y con muestras de flux del proceso, se utilizaron métodos de titulación, medición de temperatura y pH, también se realizaron inspecciones visuales. Se encontró la concentración de hierro en los tanques de ácido, el pH en los tanques de enjuague y también se realizaron curvas de calibración, las cuales después fueron utilizadas para medir la concentración de flux del proceso.

Se observó que las variables operacionales del proceso se encuentran entre los rangos establecidos, pero hay otros factores que pueden afectar la calidad del producto terminado. Se determinó que el método más exacto para medir la concentración del flux es por medio de la curva de calibración del pH.

OBJETIVOS

General:

Evaluar las variables operacionales del proceso de galvanizado para mejorar la calidad del alambre galvanizado.

Específicos:

1. Desarrollar el diseño experimental para el área de control de calidad de la empresa.
2. Comprobar si la concentración de hierro en los tanques de decapado se encuentra dentro de los parámetros operacionales establecidos.
3. Verificar si el pH de los tanques de enjuague se mantiene dentro de los parámetros operacionales establecidos.
4. Analizar la concentración del flux en función de los días y cómo la degradación de este afecta la calidad del producto terminado, además medir la proporción de la concentración de cloruro de amonio y cloruro de zinc en el mismo.
5. Observar cómo el cambio de temperatura de operación del secado del flux afecta la apariencia del alambre galvanizado.

6. Evaluar el método más factible para determinación de concentración del flux por medio de curvas de calibración de grados Baumé, densidad y pH.
7. Cuantificar las pérdidas de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la norma ASTM-A90.

Hipótesis

Hipótesis de investigación

Hi1: las variables operacionales, concentración de hierro en los tanques de decapado, concentración de hierro en el tanque flux, temperatura de secado, pH de los tanques de enjuague, proporción de cloruro de amonio y cloruro de zinc en el tanque de flux, del proceso durante los días de toma de muestra hasta regeneración de flux estarán en los promedios establecidos internamente por la empresa y se mantendrán las especificaciones de calidad del alambre galvanizado.

Hipótesis nula

Ho: las variables operacionales, concentración de hierro en los tanques de decapado, concentración de hierro en el tanque flux, temperatura de secado, pH de los tanques de enjuague, proporción de cloruro de amonio y cloruro de zinc en el tanque de flux, del proceso durante los días de toma de muestra hasta regeneración de flux estarán fuera de los promedios establecidos internamente por la empresa y no se mantendrán las especificaciones de calidad del alambre galvanizado.

INTRODUCCIÓN

Los trefilados son aquellos productos cuya materia prima es el alambión. Su proceso de fabricación consiste en el estiramiento en frío del alambión a diferentes calibres, de acuerdo al uso final del producto.

El galvanizado de alambre se realiza a partir del alambre trefilado; un hilo continuo pasa en el horno para normalizarlo (recocerlo), seguidamente se enfría y se realiza un decapado químico, que limpia la superficie con un baño de ácido clorhídrico. Posteriormente, pasa a la cuba que contiene zinc líquido a una temperatura de 450 a 470 °C, el cual se adhiere a la superficie del alambre. La función principal del recubrimiento de zinc es proteger al alambre de acero de la oxidación del ambiente, posterior a esto, llega a una estación de enfriamiento.

La Norma ASTM A-641 especifica que el alambre galvanizado debe ser brillante, sin ningún desperfecto. Las empresas deben mantener los estándares más altos de calidad, mediante la ejecución de normas. Por ello, se realizó la evaluación de las variables operacionales del proceso de galvanizado de alambre trefilado para mejorar la calidad y aspecto en el producto terminado, por medio de métodos cualitativos, cuantitativos y estadísticos.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

El parque siderúrgico más grande de Centroamérica inició sus operaciones en 1994 y se encuentra ubicado en el km 65,5 Masagua, Escuintla, Guatemala.

Esta siderúrgica ha tenido una capacidad de producción de 67 500 toneladas métricas con la producción de palanquilla, alambrón, varilla corrugada, malla electrosoldada, varilla lisa de ¼. Con el traslado de las plantas de clavos, grapas, alambre de amarre, alambre espigado, alambre galvanizado y malla ciclón, la capacidad de producción de Sidegua aumenta a 71 000 toneladas métricas mensuales. En enero de 2012 se incluye la fabricación de laminado en frío y se inicia la fabricación de productos conocidos como elementos prearmados como columnas, soleras y cimientos corridos.

El proceso de galvanizado ha estado operando durante un año, en el transcurso de este tiempo se han observado pequeñas manchas blancas en el alambre galvanizado, más notorio en los calibres BGW 8, 9,10 y 12. Para combatirlas se han realizado modificaciones al proceso de galvanizado, en la temperatura en el horno de recocido, temperatura del flux y en concentraciones en el decapado químico. También, debido a los problemas que se han presentado en el proceso, se ha buscado información en plantas siderúrgicas extranjeras, pero ninguna de las soluciones presentadas se han puesto en práctica o verificado si son funcionales.

1.2. Justificación

En la Norma ASTM A-641 se especifica que el alambre debe ser bien conformado (sin enredo ni hilos sueltos) y de acabado brillante, libre de asperezas y grumos. En septiembre de 2013 se visualizaron impurezas en el alambre galvanizado en todos los calibres, siendo el más notorio en el calibre BWG 10. Las impurezas aparecen como puntos blancos y esto hace que no se cumpla con la especificación de la Norma ASTM A-641.

Por ello surge la necesidad de evaluar el proceso del galvanizado, iniciando por el ingreso de la materia prima, muestreo de materia prima (este paso no ha sido estandarizado estadísticamente), decapado químico, tanques de enjuague, tanques de flux, secado y baño de zinc.

1.3. Determinación del problema

En el presente trabajo se hace un análisis sobre la manera acertada de detectar y formular un problema científico en el proceso de galvanizado, su objeto y objetivo en las investigaciones.

1.3.1. Definición

Al evaluar las variables operacionales del proceso, concentración de hierro, concentración de cloruro de zinc y amonio, temperatura de secado de flux, pH de tanques de enjuague y tanque de flux, cantidad de zinc, puede encontrarse la causa de aparición de puntos blancos en el alambre galvanizado.

1.3.2. Delimitación

La investigación abarcará el proceso de galvanizado por inmersión en caliente de la planta de trefilado de la empresa Sidegua. Se realizaron propuestas de cómo mejorar la calidad en la apariencia del producto final, sin embargo, no se realizó un estudio económico de las propuestas que se encontraron.

2. MARCO TEÓRICO

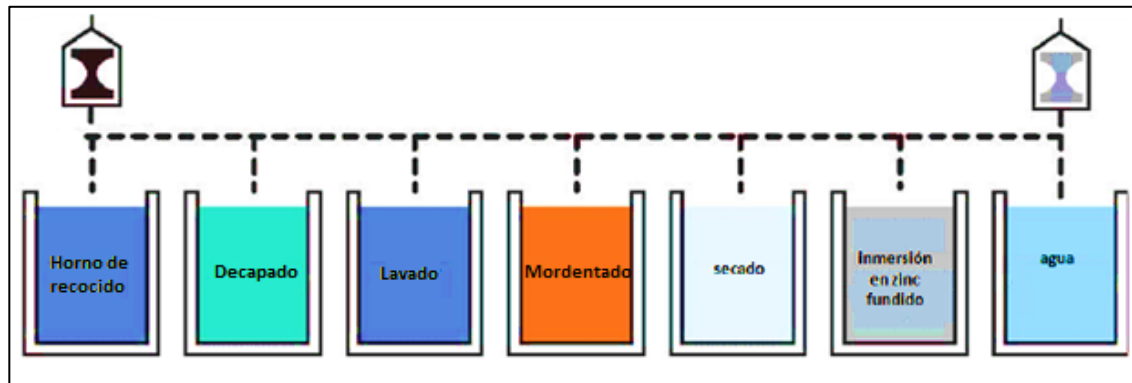
2.1. El proceso de galvanización

La galvanización se produce solo en una superficie limpiada con químicos, por lo tanto, la mayor parte del trabajo se hace con ese objetivo. Es esencial que se encuentre libre de grasa, suciedad y acumulación antes de la galvanización, estos tipos de contaminación se eliminan a través de una variedad de procesos. La práctica común es quitar la grasa mediante una solución de desengrase alcalina o ácida, en la que el material será sumergido.

La pieza se lava en agua fría y por inmersión en ácido clorhídrico a temperatura de ambiente (decapado) para eliminar la oxidación e incrustación de maquinado. Los residuos de soldadura, pintura y grasa pesada no se quitan en esta etapa de limpieza y deben ser removidos antes de que el material sea enviado a la galvanización. Después del paso del enjuague, las piezas deben sumergirse en una solución del compuesto con un flujo comúnmente de 30 % de cloruro de amonio y zinc, de 65 a 80 °C. En la etapa de flujo se eliminarán los últimos rastros de óxido de la superficie para permitir una mejor interacción entre el zinc fundido y el acero.

Cuando una pieza de acero limpia se sumerge en zinc fundido (que suele ser a 450 °C), una serie de capas intermetálicas se forma por una reacción metalúrgica entre el hierro y el zinc. La velocidad de reacción entre el acero y el zinc es generalmente parabólica en el tiempo, la velocidad inicial de reacción es muy rápida y se puede observar una considerable agitación en el baño de zinc. El grosor principal de la capa se forma durante este período.

Figura 1. Diagrama del proceso de galvanizado



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 19.

2.1.1. Horno de recocido

El horno funciona mediante quemadores y se divide en 5 zonas, zona 1A, zona 1B, zona 2, zona 3 y zona 4, a las cuales se les monitorea la temperatura y se mantienen en un rango de 850 – 1 000°C, dependiendo del calibre que se esté trabajando.

2.1.2. Cascada de enfriamiento

Esta cascada se mantiene a temperatura ambiente, sirve para que el alambre no se traslade tan caliente al siguiente paso.

2.1.3. Decapado

En el proceso hay dos tanques de ácido que funcionan al mismo tiempo, estos se muestrean y se deben mantener a una concentración de 18 % en peso

y la concentración de hierro debe ser menor a 85 ppm. Los tanques de ácido sirven para eliminar impurezas que el alambre trefilado tenga, como restos de grasa, óxido u otro. El ácido es recuperado mediante el sistema beta, también, para complementar la recuperación del ácido, una vez a la semana se agrega ácido nuevo al 37 %.

2.1.4. Tanque de enjuague

Los tanques de enjuague sirven para eliminar restos de ácido, se dividen en tres zonas, la última zona debe tener un pH de 7. Esto indica que el alambre ya no contiene restos de ácido y puede pasar al siguiente paso que es el tanque de flux.

2.1.5. Mordentado o fluxado

El flux es una mezcla de 45 % de cloruro de amonio y 55 % de cloruro de zinc, y en solución debe mantenerse entre 10 -12 °Be, un pH entre 3,5 -4,5 a una temperatura de 30 °C. El objetivo principal es facilitar la reacción metalúrgica de la pieza con el zinc. El flux trabaja removiendo la capa superficial de óxidos de hierro (Fe_xO_x) del acero. El cloruro de amonio es el principal ingrediente activo y trabaja manteniendo la superficie del alambre libre de óxidos. El cloruro de zinc remueve el óxido, pero su principal función es mantener el flux estable en el precalentamiento, proteger la superficie de acero de las futuras oxidaciones y mantener el flujo del fluido.

2.1.6. Secado del flux

Después de su paso por el tanque de flux, el alambre pasa por un proceso de secado, la temperatura de secado debe mantenerse menor a 150 °C para que el flux actúe óptimamente al ingreso en la cama de zinc.

2.1.7. Cama de zinc

La cama de zinc está a una temperatura de 450 °C está cubierta por un material llamado vermiculita, este material ayuda a que el calor y vapores no salgan a la superficie.

2.1.8. Enfriamiento

El último paso consiste en enfriamiento con agua y aire, el agua de enfriamiento debe estar entre 25 a 30 °C. Después del enfriamiento, el alambre pasa por las estopas que están hechas de teflón, ayudan a remover el exceso de zinc y a mejorar el acabado.

2.1.9. Recolectoras

El alambre galvanizado es recogido en canastas que giran y van ordenando el alambre en rollos. Este paso es el determinante de la velocidad de todo el proceso, para cada calibre hay un rango de velocidad establecida, la cual se programa en este último paso. Se puede trabajar con varias velocidades a la vez, ya que los motores son independientes unos de otros. Los rollos de alambre galvanizado pasan a las áreas de malla ciclón, grapa y alambre espigado.

2.2. Principales reacciones que se dan durante el proceso de galvanizado

A la temperatura normal de galvanización (445-460 °C) el zinc y el acero reaccionan rápidamente. Las piezas se extraen del baño de galvanización cuando se considera que la reacción se ha completado (normalmente después de unos pocos minutos) y aunque el recubrimiento de zinc queda ya formado en este período, su estructura interna sigue evolucionando mientras el material está caliente.

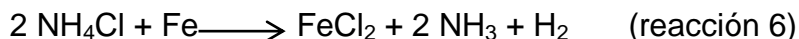
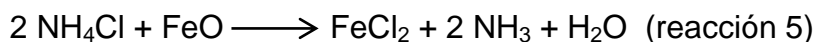
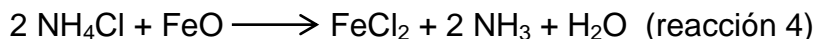
- Reacciones en el decapado



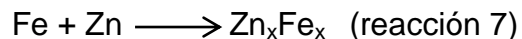
El cloruro férrico (FeCl_3) que se forma, se reduce a cloruro ferroso (FeCl_2) por el hidrógeno que se desarrolla de la reacción 2



- Reacciones en el flux

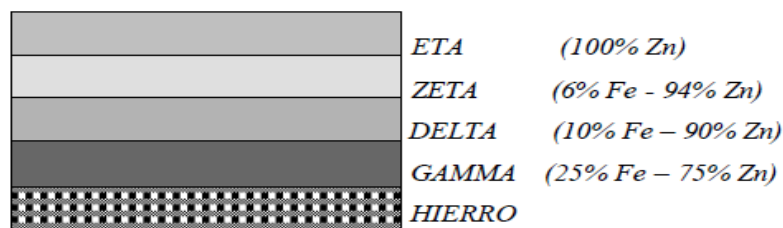


- Reacciones en la cama de zinc



Durante la inmersión de las piezas, se produce la reacción Fe -Zn; el hierro se mezcla en el zinc formando aleaciones y capas con porcentajes decrecientes de hierro hasta conseguir una capa de zinc puro. Este comportamiento se puede visualizar en la figura 2.

Figura 2. **Capas producidas por la reacción Fe-Zn**



Fuente: ALMEIDA, Marcelo. *Boletín electrónico. Galvanización por inmersión en caliente.* p. 3

2.3. El revestimiento

Cuando la reacción entre el hierro y el zinc está casi cerrada y la pieza se retira del tanque de galvanización con su revestimiento exterior de zinc puro, se completa el proceso. La sección transversal de un recubrimiento galvanizado tiene la apariencia de la figura 2, de hecho, no existe una delimitación entre el acero y el zinc, sino una transición gradual a través de una serie de capas intermetálicas que proporciona una unión metalúrgica.

2.3.1. Espesor de los recubrimientos

El espesor de los recubrimientos es, por lo general, determinado por el grosor del acero y se establece para el alambre en la Norma ASTM A 641/641.

2.4. El rendimiento físico

El proceso de galvanización tiene la característica única de otorgar un acabado fuerte y resistente a la abrasión, lo que representa una mayor protección a la superficie de acero.

2.4.1. Cohesión

A diferencia de la mayoría de los recubrimientos que dependen únicamente de la preparación para ostentar un agarre de acero, la galvanización por inmersión en caliente produce un recubrimiento que se adhiere al acero de forma metalúrgica. En otras palabras, el hierro y el zinc reaccionan entre sí para formar una serie de aleaciones que hacen que el recubrimiento sea una parte integral de la superficie del acero, mostrando una cohesión excelente.

2.4.2. Rigidez

Un recubrimiento resistente a los daños mecánicos durante la manipulación, almacenamiento, transporte y montaje, es muy importante, especialmente si se debe evitar el costo del retoque en el trabajo. La capa externa de zinc puro es relativamente suave y absorbe gran parte del choque inicial de un impacto durante la manipulación y el transporte. Las capas más cercanas a la aleación de acero son más rígidas y en ocasiones incluso más rígidas que la propia base de acero. Esta combinación proporciona una capa dura y resistente a la abrasión.

2.5. Resistencia contra la corrosión atmosférica

La resistencia de la galvanización contra la corrosión atmosférica depende de una película protectora que se forma en su superficie. Cuando se retira el acero del baño de galvanización, el zinc presenta una superficie brillante y pulida. Con el tiempo, esta se vuelve gris, porque la superficie reacciona con el oxígeno, el agua y el dióxido de carbono de la atmósfera, lo cual permite la formación de una película protectora compleja, fuerte y estable, que se pega con firmeza al zinc.

Los contaminantes de la atmósfera afectan la naturaleza del zinc, siendo el dióxido de azufre (SO₂) el principal contaminante que lo afecta y que controla, además, en gran medida, la velocidad de la corrosión atmosférica de este elemento. La velocidad de corrosión del zinc se produce generalmente de forma lineal en un entorno determinado, lo cual permite estimar la vida útil del revestimiento mediante las evaluaciones de su espesor.

2.5.1. Ambientes internos

Un error común es creer que la corrosión no puede afectar las estructuras de acero que se encuentran en ambientes internos, descartando además el tiempo. Si se registra condensación frecuente en la superficie de la estructura y además el acero no está debidamente protegido, la corrosión será significativa. En estas condiciones, la galvanización por inmersión en caliente puede ofrecer más de 40 años de vida útil. La galvanización por inmersión en caliente también ha sido ampliamente utilizada para proteger las estructuras de acero en ambientes interiores, además de agresivos, como piscinas y cervecerías.

2.5.2. Alta temperatura

Los revestimientos galvanizados resistirán la exposición a temperaturas de aproximadamente 200 °C y en ocasiones hasta 275 °C, sin efecto sobre el revestimiento. Por encima de estas temperaturas, hay una tendencia a que la capa externa de zinc se separe, pero la capa de aleación de hierro/zinc, que comprende la mayor parte de la capa permanezca intacta. Por lo tanto, se puede ofrecer una protección adecuada, por lo general, en el punto de fusión de la capa de aleación (unos 530 °C)

2.6. Calidad e inspección

Se pueden observar pequeños cambios en el acabado del acero galvanizado que no afectan las características de la capa protectora, las empresas deben mantener los estándares más altos de calidad mediante la ejecución de normas. los requisitos normativos de estas reglas garantizan que el recubrimiento de zinc sea continuo en el grosor establecido.

2.6.1. Recubrimiento en gris opaco

La causa de este aspecto es la distribución de hierro para formar fases de la aleación hierro-zinc en la superficie del recubrimiento. Se desarrolla en zonas localizadas, pero se puede extender sobre toda la superficie de la pieza. Ocurre principalmente en aceros con contenido relativamente alto de silicio o fósforo, sustancias más reactivas con el zinc fundido. Debido a que estos recubrimientos son, en muchos casos, más gruesos que los normales, ostentan una vida más larga. Rara vez se da el caso de que el galvanizador disminuya ese efecto, el cual es el resultado de la composición química del acero.

Figura 3. **Aspecto recubrimiento en gris opaco**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 46.

2.6.2. Manchas de óxido

El acero galvanizado a veces presenta manchas de óxido. Esto puede dar la impresión equivocada de que hay defectos en el recubrimiento y, en ocasiones, ser visualmente inaceptable. Este efecto puede darse debido a uno o más de los siguientes factores:

- Contacto directo de las piezas galvanizadas con acero sin protección o con la protección inadecuada.
- Los depósitos de polvo de hierro y acero de otras operaciones o fuentes sobre la superficie galvanizada.
- El drenaje de agua de una pieza de acero sin protección o insuficientemente protegida (por ejemplo, las áreas dañadas en las estructuras de acero pintadas).
- Residuos de limpieza en soldaduras o placas sobrepuestas.

- Durante la limpieza, el ácido puede penetrar en el área de soldadura a través de los orificios para pernos u otros espacios en la soldadura (chorro ácido).
- Óxido en zonas soldadas después de la galvanización y dejadas sin protección o con protección inadecuada.
- Agua corriente de otros materiales, materiales conocidos como el cobre y ciertos tipos de madera dura (por ejemplo, el roble).

Este efecto puede ocurrir siempre que el agua disuelva materiales de una superficie y los deposite en el acero galvanizado. Para evitar las manchas de óxido, todas las partes de la estructura deben recibir una protección eficaz contra la corrosión, cuando sea posible. Tuercas, tornillos y otros fijadores también deben ser galvanizados por inmersión en caliente. La soldadura deberá ser continua, cuando sea posible, para minimizar la retención de residuos de limpieza y también estar libres de desechos. Las estructuras deben estar diseñadas para evitar la afluencia del agua de otros metales en el acero galvanizado. Cuando sea necesaria la soldadura después de la galvanización, las zonas soldadas deben ser cuidadosamente limpiadas y el recubrimiento de zinc restaurado.

Las manchas de la mayoría de fuentes externas no tienen ningún efecto sobre la vida útil del revestimiento. Sin embargo, las zonas afectadas se pueden limpiar para mejorar el aspecto de la estructura. Por lo general, se puede utilizar un cepillo duro o polvo abrasivo para remover la mancha y dejar el recubrimiento galvanizado intacto.

Figura 4. **Visualización de manchas de óxido en el galvanizado**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 47.

2.6.3. Aspereza general

El recubrimiento áspero ocurre debido a la formación irregular de capas de hierro- zinc y zinc puro, debido a la composición química de la superficie de acero o el estado superficial de la pieza. Estos factores se encuentran fuera del control del galvanizador. La rugosidad originada en el proceso de galvanización se debe al exceso de extracción, la inmersión por tiempo prolongado en el tanque de galvanización o la alta temperatura del zinc fundido.

El recubrimiento áspero suele ser más grueso que el recubrimiento convencional. En aplicaciones donde el acabado áspero es estéticamente inaceptable o perjudica el rendimiento del producto, rara vez es posible que el galvanizador pueda alcanzar una cierta mejora. La composición química y la superficie del material deben ser cuidadosamente especificadas.

Figura 5. **Aspereza general**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 49.

2.6.4. Sin uniformidad y drenaje (drenaje desigual)

Puede presentarse una capa irregular dependiendo de la complejidad y la composición química del material procesado. No se puede exigir el mismo acabado para la galvanización de piezas ejecutadas por un proceso discontinuo u otro continuo. Dependiendo de la geometría de las piezas, algunas variables del proceso deben tenerse en cuenta, como la temperatura del zinc fundido, la velocidad y la salida de la parte de inmersión del baño de zinc, velocidad de enfriamiento y el tiempo de permanencia de la pieza en el baño de zinc.

El exceso causado por el flujo desigual del zinc en una pieza, cuando se retira de la bañera, puede suceder por causa de la forma de la trayectoria de los componentes. No se daña la vida útil del recubrimiento. Las puntas afiladas del exceso de zinc solidificado no son aceptables, ya que pueden presentar riesgos durante la manipulación.

Figura 6. **Acabado sin uniformidad y drenaje desigual**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 50.

2.6.5. Grumos (grano)

Son depósitos de diversos tipos, formas y dimensiones que forman parte de la capa de zinc. Los grumos se forman cuando las impurezas del baño de zinc (lodos, óxidos, plomo) se fijan en la superficie de la pieza con zinc en el momento de su retirada de la bañera. La presencia de excesiva cantidad de grumos suele ser causa de rechazo, ya que tienden a debilitar el recubrimiento.

Figura 7. **Aspecto de material galvanizado con grumos**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 51.

2.6.6. Corrosión blanca

Es el nombre dado a los depósitos blancos que se forman en la superficie de la pieza con zinc, debido al almacenamiento o transporte en condiciones de mala ventilación o humedad. A pesar de la apariencia, la corrosión blanca no pone en peligro la capa de zinc original.

En caso de duda, debe procederse a una limpieza del área afectada y verificar su espesor. Para evitar la corrosión blanca en el almacenamiento, las piezas recubiertas de zinc deben ser transportadas y almacenadas en un lugar seco y aireado. Si son almacenadas al aire libre, las piezas no deben estar en contacto cercano: la circulación libre de aire es necesaria para evitar la condensación y la retención la humedad. Se debe evitar el agrupamiento o contenedor cerrado, porque la acción capilar puede dibujar superficies de agua en el contacto cercano. Las piezas no deben almacenarse en contacto directo con el suelo.

Para prevenir la aparición de corrosión blanca, los galvanizadores utilizan un proceso de estabilización pasiva, que consiste en aplicar una solución que inhibe la corrosión blanca. Sin embargo, estas medidas no se encuentran exentas de atención en el almacenamiento del acero galvanizado.

Figura 8. **Corrosión blanca**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 52.

2.6.7. Manchas de flujo

Cuando el flujo se utiliza durante el proceso de inmersión de la pieza en el baño de zinc, se puede unir a la superficie de la pieza y causar manchas negras en el recubrimiento. Estos elementos tienden a absorber la humedad y a formar un compuesto ácido. Los depósitos de flujo eliminados de la superficie de la pieza en el momento de la retirada de la bañera no justifican el rechazo, ya que, mediante la retirada del tanque, el recubrimiento de zinc se mantiene intacto.

Figura 9. **Apariencia con manchas de flujo**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 53.

2.6.8. Puntos descubiertos

Debido a la acción del sacrificio del zinc, las fallas pequeñas, 8 mm² a lo sumo, son protegidas y ejercen poco efecto sobre la vida del recubrimiento. Grandes áreas descubiertas son generalmente el resultado de procesos defectuosos y deben ser rechazadas. Las causas del problema solo serán responsabilidad del galvanizador si hubo un tratamiento previo deficiente, excesiva temperatura de secado antes de la galvanización o piezas apoyándose unas sobre otras durante la inmersión en el baño.

Los puntos descubiertos pueden ser causados también por los defectos del acero laminado. Pequeñas áreas de la capa pueden a veces paralizar las operaciones de corte o soldadura después de la galvanización. Los hierros fundidos de color gris en el decapado químico presentan nódulos de grafito que afloran en la superficie y causan fallos en la galvanización. Por lo tanto, se recomienda el chorreamiento de estos materiales antes de la galvanización. A pesar de la excelente resistencia del recubrimiento de zinc, pueden dañarse áreas pequeñas durante el transporte, manipulación y montaje.

Figura 10. **Apariencia con puntos abiertos**



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. p. 54.

2.7. Normas de referencia

Norma, generalmente de la más alta calidad metrológica, disponible en un lugar determinado, de la cual se derivan las mediciones hechas en ese lugar.

2.7.1. Normas brasileñas

- NBR6323 Galvanoplastia productos de acero o hierro fundido – Especificación.
- NBR7397 Productos de acero o hierro fundido recubierto con zinc por inmersión en caliente - Determinación de la masa de recubrimiento por unidad de área - Método de ensayo.
- NBR7398 Producto de acero o hierro fundido recubierto con zinc por inmersión en caliente - Verificación de la adhesión del revestimiento.
- NBR7399 Producto de acero o hierro fundido galvanizado en caliente - Control del espesor del proceso de recubrimiento no es destructivo - Método de ensayo.
- NBR7400 Galvanización de productos de acero o hierro fundido en caliente por inmersión - Verificación de la uniformidad de los revestimientos - Método de ensayo.
- NBR7414 Galvanización de productos de acero o hierro fundido galvanizado en caliente – Terminología.
- NBR14267 Elementos sistema de fijación - Piezas roscadas galvanizadas por inmersión en caliente – Especificación.
- NBR14643 Corrosión atmosférica – Clasificación de corrosividad de las atmósferas.

2.7.2. Normas ASTM

- A123/A123M – 02 Recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente sobre productos fabricados.
- ASTM A- 641 Tolerancia y propiedades mecánicas.
- A90 / A 90M – 01 Método de ensayo para el peso del recubrimiento de zinc sobre hierro y artículos de acero.
- A143 – 03 Protección contra la fragilización.
- A1531A 153M – 05 Recubrimiento galvanizado por inmersión en caliente sobre las herramientas de acero y hierro.
- A325 – 06 Tornillo de acero de alta resistencia al carbono.
- A384-02 Protección contra la distorsión.
- A385 – 05 Práctica para ofrecer un acabado galvanizado de alta calidad.
- A6531A 653m – 06 Chapas de acero galvanizadas por inmersión en caliente.
- A767 / A 767M – 05 Barras de refuerzo galvanizados por inmersión en caliente.
- A780 – 01 Reparación de galvanizado por inmersión en caliente dañado.

2.7.3. Normas ISO

- ISO 1459 Protección por galvanización en caliente: los principios rectores
- ISO 2063 Spray de metal de zinc y aluminio
- ISO 2081 Recubrimientos de zinc laminado

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Como resultado del estudio y recopilación de datos de manuales de galvanizado y datos recopilados en la empresa sobre los factores que influyen en el proceso de galvanizado, se determinarán las variables de entrada a modificar para medir el efecto sobre los resultados, así como los factores que se mantendrán constantes.

Tabla I. **Definición operacional de las variables para la evaluación del proceso de galvanizado de alambre trefilado, para mejora de la calidad y aspecto en el producto terminado**

Núm.	Variable	U	Fórmula química	Dependiente	Independiente	Constante	Variable
Horno de recocido							
1	Temp. zona 1 ^a	°C	N.A		X		X
2	Temp. zona 1B	°C	N.A		X		X
3	Temp. zona 2	°C	N.A		X		X
4	Temp. zona 3	°C	N.A		X		X
5	Temp. zona 4	°C	N.A		X		X
Tanque de enfriamiento con agua							
6	Temperatura	°C	N.A		X		X
Tanques de ácido							
7	Temp. tanque 1	°C	N.A		X		X
8	Temp. tanque 2	°C	N.A		X		X
9	Nivel tanque 1	cm ³	N.A		X		X
10	Nivel tanque 2	cm ³	N.A		X		X

Continuación de la tabla I.

11	Concentración ácido tanque 1	g/L	HCl	X			X
12	Concentración ácido tanque 2	g/L	HCl	X			X
13	Concentración Fe tanque 1	g/L	Fe	X			X
14	Concentración Fe tanque 2	g/L	Fe	X			X
Tanques de enjuague							
15	pH zona 1		N.A	X			X
16	pH zona 2		N.A	X			X
17	pH zona 3		N.A	X			X
Tanque Flux							
18	Concentración hierro	g/L	Fe	X			X
19	Concentración Cloruro de zinc	g/L	ZnCl ₂	X			X
20	Concentración Cloruro de amonio	g/L	NH ₄ Cl	X			X
21	pH			X			X
22	Densidad	g/c m ³		X			X
23	°Baume	°Be		X			X
Secado del Flux							
24	Temperatura	°C			X	X	
Cama de zinc							
25	Temperatura	°C			X	X	
Canastas recolectoras de alambre galvanizado							
26	Velocidad	m/s		X			X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Área: siderúrgica.
- Industria: alambres trefilados.
- Proceso: evaluación del proceso de galvanizado de alambre trefilado para mejora de la calidad y aspecto en el producto terminado en una empresa siderúrgica guatemalteca.
- Ubicación: la evaluación del proceso se llevará a cabo en la planta de trefilados de la empresa Sidegua, en el área de galvanizado. Las pruebas de análisis químico se realizarán en el laboratorio de análisis fisicoquímico de la planta.
- Clima: el clima de donde se encuentra ubicada la planta es caluroso, con temperaturas desde 18 hasta 35 °C y humedad entre 64 a 80 %.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigadora: Esther Nohemí López Coloma

Colaboradora: Inga. Qca. Carolina Juárez

Asesor de la empresa: Ing. Qco. Carlos Estuardo Caballeros García

Audidores de calidad: Klenster Escobar, Miguel Borón

3.4. Recursos materiales disponibles

Se utilizaron los siguientes reactivos, cristalería y equipos, todo con la meta de cumplir los objetivos expuestos.

3.4.1. Reactivos

Es toda sustancia que interactúa con otra en una reacción química y que da lugar a otras sustancias de propiedades, características y conformación distinta, denominadas productos de reacción o simplemente productos.

Tabla II. **Reactivos utilizados en la investigación**

Reactivo	Cantidad
Formaldehído al 10 %	4 L
Cloruro de amonio	1 L
Hidróxido de amonio	5 g
Negro de ericromo T	250 g
EDTA 0,1 M	250 mL
Nitrato de plata 0,1 N	250 mL
Dicromato de potasio	32 oz
Naranja de metilo	250 mL
Ácido clorhídrico al 37 %	1 L
Sal flux	50 lb

Fuente: laboratorio de la planta de trefilado, Sidegua.

3.4.2. Cristalería

A continuación en la tabla III se hace una descripción de la cristalería del laboratorio utilizada en la investigación.

Tabla III. **Cristalería utilizada en la investigación**

Cristalería	Capacidad
Bureta	25 mL
Pipeta volumétrica	10 mL
Pipeta graduada	5 mL
Erlenmayer	250 mL
Balón aforado de	100 mL
Pipeta volumétrica	2 mL
Pipeta volumétrica	10 mL
Bureta	50 mL
Beaker	50 mL
Vidrio de reloj	N.A.
Probeta	25 mL

Fuente: laboratorio de la planta de trefilado, Sidegua.

3.4.3. **Equipo**

A continuación en la tabla IV se hace una descripción del equipo utilizado en el laboratorio.

Tabla IV. **Equipo de laboratorio utilizado en la investigación**

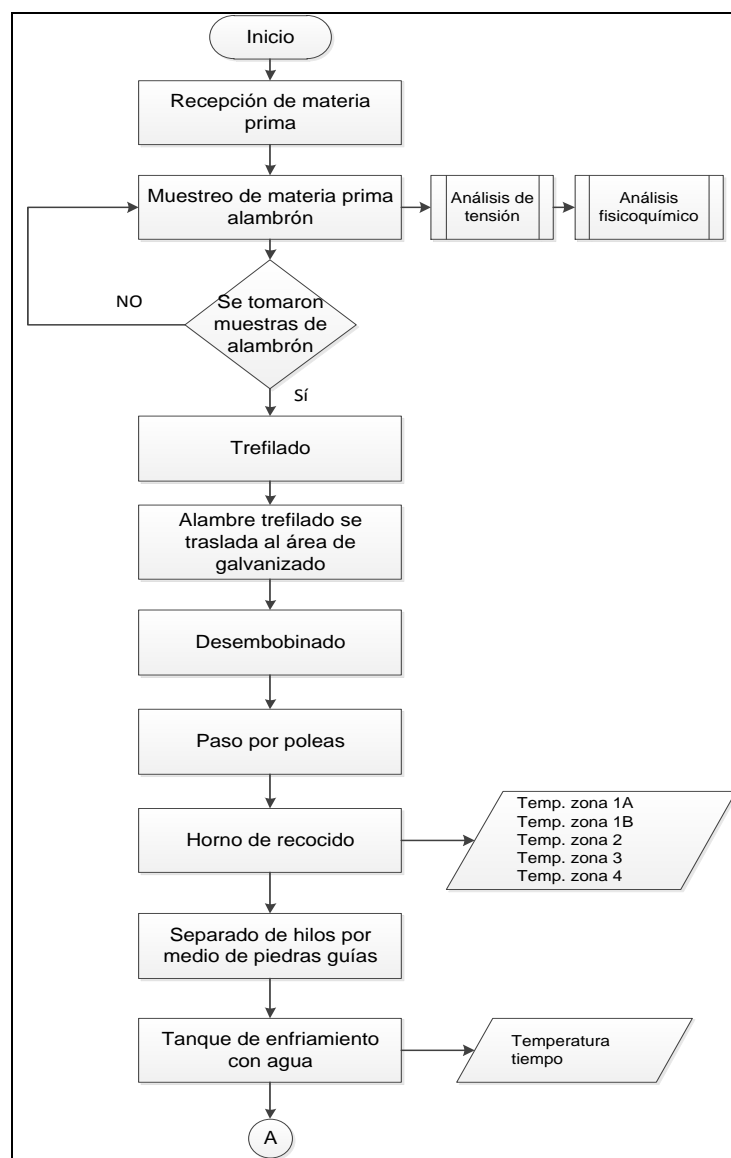
Equipo	Especificaciones
Potenciómetro	Handylab pH 11 portátil precisión $\pm 0,01$ pH
Balanza analítica	Metler Toledo XSE 105DU precisión $\pm 0,01$ mg
Termómetro infrarrojo	Termómetro marca CEM DT-8856 rango de temperatura de 50 a 1 370 °C, Laser diodo
Aerómetro	Aerómetro Be 0-50P/mercurio $\pm 2,5^\circ\text{Be}$
Densímetro	Densímetro 1-10P/mercurio $\pm 2,5\text{g/cc}$

Fuente: laboratorio de la planta de trefilado, Sidegua.

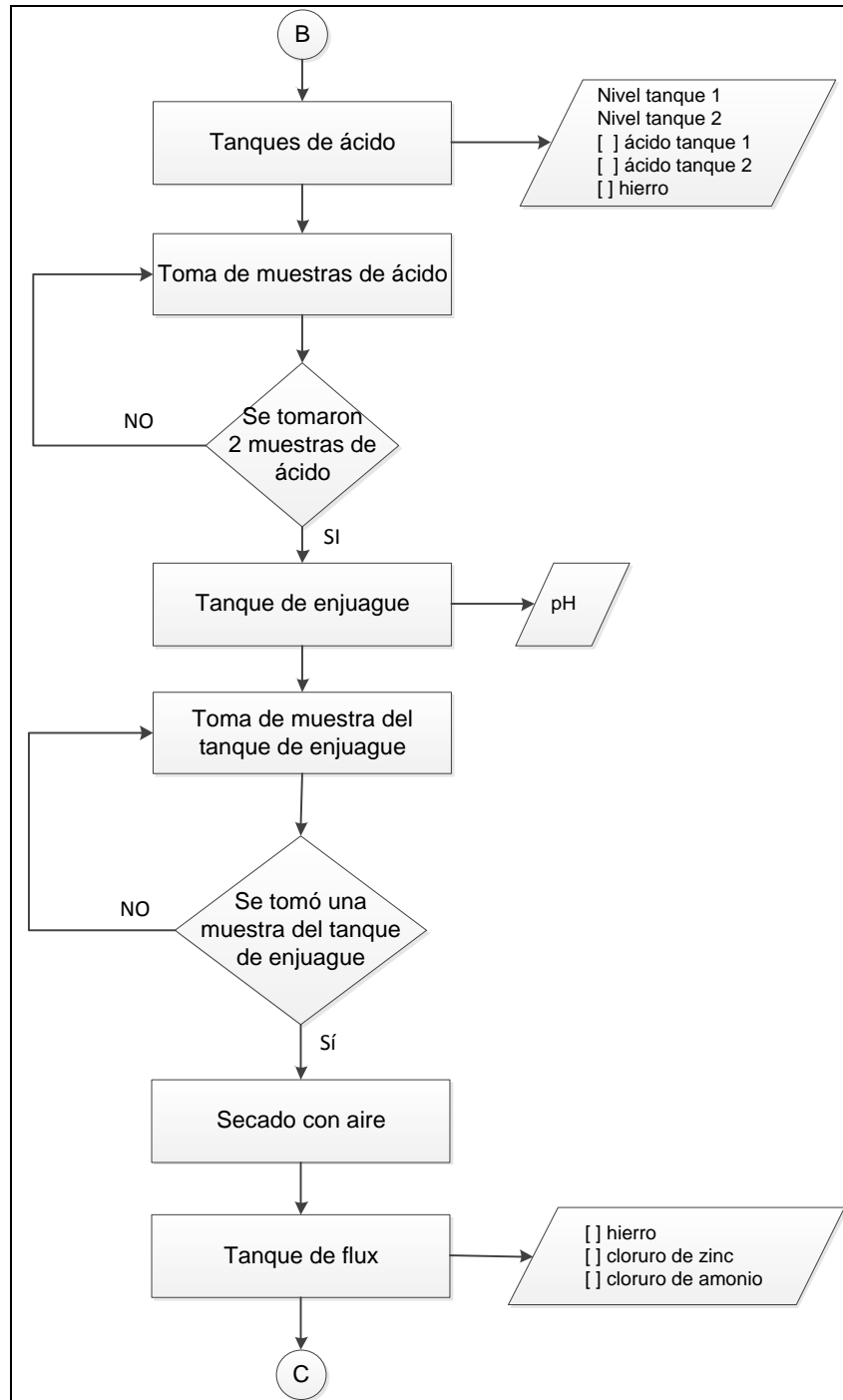
3.5. Técnica cuantitativa

A continuación se presenta el diagrama de la técnica empleada en el presente trabajo de graduación.

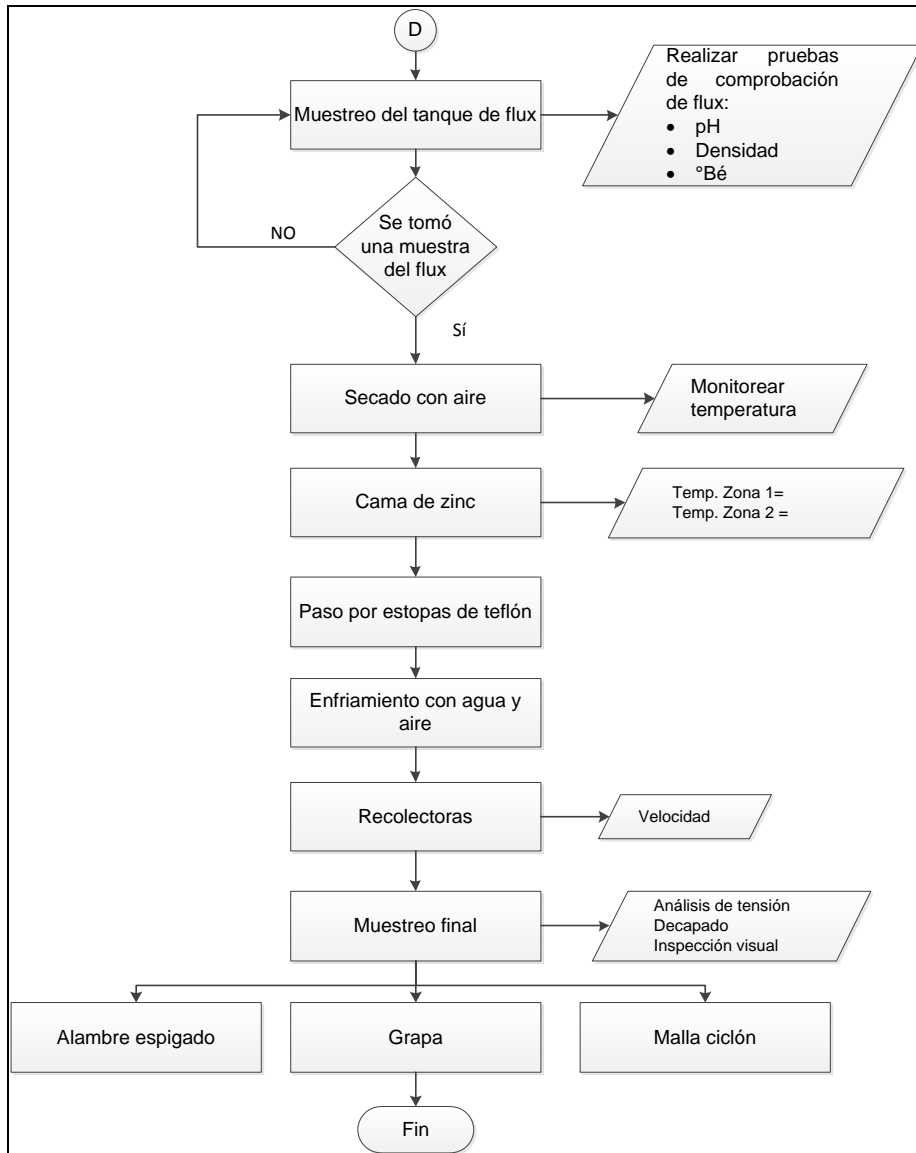
Figura 11. Técnica cuantitativa



Continuación de la figura 11.



Continuación de la figura 11.



Fuente: elaboración propia, empleando Visio.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La recolección de información del proceso se inició identificando todos los parámetros de operación velocidades, temperatura, concentraciones, puntos de control y puntos críticos de control. Se recolectaron datos teóricos para realizar comparaciones con los del proceso trabajado en la planta siderúrgica, luego, se prosiguió a evaluar el flux por métodos de titulación, densidad y pH, también se monitoreó la temperatura. Se realizaron curvas de calibración, para determinar cuál método es el más apropiado para medir las concentraciones en el flux.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se inició recolectando información sobre los parámetros de operación del proceso y su identificación como punto de control o punto crítico de control.

Tabla V. **Definición de parámetros de operación del proceso de alambre trefilado galvanizado**

Núm.	Nombre del parámetro a medir	Rango de operación (min. – máx.)	Punto de control	Punto crítico de control
Paso por el horno de recocido				
1	Temp. zona 1 ^a	(918 – 921 °C)	X	
2	Temp. zona 1B	(915 – 919 °C)	X	
3	Temp. zona 2	(915 – 921 °C)	X	
4	Temp. zona 3	(920 – 926 °C)	X	
5	Temp. zona 4	(920 – 930 °C)	X	
Tanques de ácido				
9	Nivel tanque 1	(30 – 40 cm)	X	
10	Nivel tanque 2	(30 – 40 cm)	X	

Continuación de la tabla V.

11	Concentración ácido tanque 1	[3 – 20 g/L]	X	
12	Concentración ácido tanque 2	[7 – 20 g/L]	X	
13	Concentración Fe tanque 1	[no mayor de 90 g/L]	X	
14	Concentración Fe tanque 2	[no mayor de 90 g/L]	X	
Tanque de enjuague				
15	pH	(6,5 – 7,5) 60 % nivel de agua		X
Tanque de flux				
18	Concentración de hierro	[No mayor de 90 g/L]	X	
19	Temperatura	(34 – 40 °C)	X	
21	pH	(4,5 – 5,5)	X	
22	Concentración del flux	[80 – 220 g/L]		X
Secado				
23	Temperatura	(145– 200 °C)		X
Cama de zinc				
24	Temperatura	(400– 450 °C)	X	
Canastas recolectoras de alambre galvanizado				
26	Velocidad	Depende del calibre de hilo	X	
Se marcaran con X si es punto de control o punto crítico de control				

Fuente: elaboración propia.

La fase experimental de este proyecto se inició con el análisis en el muestreo del flux, el cual se llevará a cabo de la siguiente manera:

- Se realizaron muestras en blanco de solución de flux a diversas concentraciones.

- Se midió pH en cada una de esas soluciones y se realizó una curva de calibración.
- Se midió la densidad en grados Baumé.
- Se midieron a las soluciones la concentración de flux (cloruro de amonio y cloruro de zinc).
- Se establecieron las curvas de calibración y se compararon los resultados con la titulación, se midieron las soluciones en el proceso y se compararon para elegir el mejor método.

3.7.1. Muestras en blanco de solución de flux

Se tomaron muestras en blanco para la comprobación del método de medición del flux y se realizaron curvas de calibración con base en estas pruebas y luego se compararon con las del proceso.

- Se tomó una muestra del saco nuevo de flux.
- Se pesó 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220 g respectivamente.
- Se aforó en un balón de 1L.
- Se midió pH, densidad y grados Baumé.
- Se tomó nota de los resultados.
- Se realizó curva de calibración de concentración en función de pH, densidad y grados Baumé.

3.7.2. Comprobación del flux con soluciones del proceso

Se realizaron pruebas con soluciones del proceso, estas se extrajeron del tanque de flux cuando el proceso estaba en marcha y se compararon por medio de gráficas con las muestras en blanco ya realizadas. Este muestreo

también se realizó con el pasar de los días hasta que el flux contenido en el tanque se cambió.

- Se tomó una muestra del tanque de flux.
- Se midió pH, densidad y grados Baumé
- Se utilizaron las curvas de calibración para encontrar la concentración del flux
- Se anotaron los resultados.

3.7.3. Comparación de pruebas de solución en blanco y pruebas con solución del proceso

Por medio de gráficas se hizo la comparación entre grados Baumé, pH y densidad de las pruebas de solución en blanco y las pruebas con solución del proceso.

3.7.4. Comparación de la variación de concentración de cloruro de zinc y de amonio entre pruebas con solución en blanco y pruebas con solución del proceso

Por medio de una tabla, se comparó la diferencia entre la variación de concentración de cloruro de amonio y cloruro de zinc de pruebas en solución en blanco y pruebas en solución del proceso. A estas últimas también se les realizará muestreos conforme paso de tiempo, para observar cómo la sal flux se degenera con el tiempo y el resultado se mostrará en una gráfica.

3.7.4.1. Procedimiento para verificación de contenido de cloruro de zinc en el baño de sal flux

- Se midieron con la pipeta 2 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- Se diluyó con 100 mL de agua destilada.
- Se agregaron 25 mL de tampón amoniacal y 10 mL de formaldehído al 10 %.
- Se adicionó una punta de espátula de negro de eriocromo T.
- Se tituló con EDTA 0,1 M hasta color azul.

Reporte de resultados:

Contenido de cloruro de zinc (g/L) = $6,813 \times V_1$ (ecuación 1)

Donde:

V_1 = mL de EDTA 0,1 N gastado en la muestra.

3.7.4.2. Procedimiento de verificación de contenido de cloruro de amonio en el baño de sal flux

- Se midieron con la pipeta 10 mL de muestra en un matraz forado de 100 mL y aforar con agua destilada.
- Se midieron con la pipeta 2 mL de muestra en un matraz Erlenmayer de 250 mL.
- Se diluyó con 100 mL de solución de dicromato de potasio.
- Se tituló con solución de nitrato de plata 0,1 N hasta cambio de color amarillo a café rojizo pálido.

Reporte de resultados:

Contenido de cloruro A (g/L) = $3,546 \times V1$ (ecuación 2)

Contenido de cloruro B (g/L) = $17,73 \times V2$ (ecuación 3)

Contenido de cloruro de amonio (g/L) =
 $1,50 \times (\text{cloruro B} - \text{Cloruro A})$ (ecuación 4)

Donde:

V1 = mL de EDTA 0,1 N gastados en el análisis 1

V2= mL de nitrato de plata 0,1 N gastados en el análisis 2

3.7.5. Análisis de concentración de partículas de hierro

- Se tomó 1 mL de la muestra de ácido del tanque de decapado
- Se adicionaron 5 gotas de difenil amina sulfúrica
- Se tituló con dicromato de potasio hasta obtener una coloración violeta
- Se tomó lectura de la bureta que contiene dicromato de potasio

Reporte de resultados:

Gramos por litro de hierro en solución= mililitros de dicromato de potasio *

14.

La concentración de partículas de hierro en el ácido clorhídrico debe estar como máximo en 150 g/L, si excede el máximo se debe renovar la solución de ácido en el tanque de decapado.

3.7.6. Monitoreo de la temperatura de secado del flux

Se realizaron pruebas con cambio en la temperatura de secado del flux, la cual se maneja a 200 °C. Se modificó a una temperatura menor de los 150 °C y se monitorearon los cambios en el producto terminado.

Tabla VI. **Formato de cambio de temperatura en el secado del flux**

Temperatura T ₁ °C 20 marzo			
Calibre	Inspección visual		
	MP	RP	PP
08			
09			
10 ¼			
12			
12 ¼			
12 ½			
13			
13 1/4			
13 ¾			
14			
14 ¼			
14 ¾			
15			
15 ¾			
16			
17 ¼			
Donde: MP: muchos puntos RP: regular cantidad de puntos PP: pocos puntos o nulos			

Fuente: elaboración propia.

3.7.7. Procedimiento para análisis de muestra bajo la Norma ASTM A-90

Este método sirve para la determinación del peso del recubrimiento de zinc-recubierto (galvanizado) de alambre y otros artículos recubiertos de zinc.

- Se pesó la muestra
- Se midió altura y diámetro de la muestra.
- Se sumergió la muestra en una solución de ácido clorhídrico
- Se esperó a que las burbujas de hidrogeno cesen (15-30 seg)
- Se lavaron con agua las muestras
- Se pesaron las muestras
- El resultado debe estar entre un rango de 45 – 60 g/m²

3.8. Análisis estadístico

A continuación se presentan las fórmulas con las que se realizó el análisis estadístico.

3.8.1. Promedio

$$X = \frac{(X_1+X_2+X_3...+X_n)}{n} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

X = valor promedio

Xn = valor observado

N= número total de datos observados

Tabla VII. **Promedio de la concentración de hierro en los tanques de decapado y pH en el tanque de enjuague**

Tanque	Promedio (g/L)
Tanque 1	64,565
Tanque 2	21,330
Tanque de enjuague	6,218

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla VIII. **Promedio del pH del flux en función de la concentración de la solución en blanco y la solución del proceso**

pH	Promedio
Solución en blanco	5,083
Solución del proceso	5,642

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla IX. **Promedio de la densidad del flux en función de la concentración de la solución en blanco y la solución del proceso**

Tipo de solución	Promedio (g/mL)
Solución en blanco	1,064
Solución del proceso	1,019

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla X. **Promedio de los grados Baume en función de la concentración de la solución en blanco**

Tipo de solución	Promedio °Be
Solución en blanco	15,500

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla XI. **Promedio de la concentración del cloruro de zinc y cloruro de amonio en solución del proceso conforme al tiempo**

Sal analizada	Promedio (g/L)
Cloruro de zinc	32,021
Cloruro de amonio	76,740

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla XII. **Promedio del peso inicial y final del alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90**

Calibre BWG-10	Peso (g)
Promedio del peso inicial del alambre	14,229
Promedio del peso final del alambre	14,114

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla XIII. **Promedio del recubrimiento de zinc en el alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90**

Calibre BWG-10	Recubrimiento de zinc (g/m ²)
Promedio del recubrimiento de zinc	53,264

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla XIV. **Promedio de la concentración de hierro en los tanques de decapado de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para la medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90**

Tanque	Promedio (g/L)
Tanque 1	44,722
Tanque 2	69,689

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

Tabla XV. **Promedio de la concentración de flux de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para la medición de pérdidas de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90**

Variable medida	Concentración (g/L)
Promedio de la concentración del flux	217,309

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 5.

3.8.2. Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} |Xi-X|^2}{n-1}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

S= desviación estándar

X= valor de la media

Xi= valor de cada observación

n= número total de datos observados

Tabla XVI. **Desviación estándar de la concentración de hierro en los tanques de decapado y pH del tanque de enjuague**

Tanque 1 (g/L)	Tanque 2 (g/L)	Tanque de enjuague (g/L)
4.95	1,27	7,41
10.55	2,44	7,02
1.81	2,22	6,34
4.49	1,32	5,36
10.35	2,42	7,51
6.48	1,04	4,22
4.95	1,24	7,11
11.61	4,56	4,91
17.47	4,76	5,21
8.92	0,25	7,27

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 6.

Tabla XVII. **Desviación estándar del pH, densidad y grados Baumé del flux en función de la concentración en una solución en blanco**

pH	Densidad (g/ml)	°Be
0,182	0,064	0,707
0,174	0,048	0,597
0,121	0,018	0,462
0,043	0,046	0,267
0,031	0,016	0,267
0,819	0,044	0,462
0,139	0,055	0,597
0,232	0,060	0,707
0,182	0,064	0,707

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 6.

Tabla XVIII. **Desviación estándar del pH y densidad del flux del proceso en función de la concentración**

Día	pH	Densidad (g/ml)
1	0,173	0,048
2	0,145	0,064
3	0,129	0,052
4	0,213	0,035
5	0,067	0,054
6	0,140	0,011
7	0,230	0,074
8	0,108	0,054
9	0,161	0,100
10	0,176	0,074

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 6.

Tabla XIX. **Desviación estándar de la concentración del cloruro de zinc y cloruro de amonio en solución del proceso conforme al tiempo**

Día	concentración cloruro de zinc (g/L)	concentración del cloruro de amonio (g/L)
1	0,953	1,292
2	0,441	1,254
3	1,080	1,041
4	0,441	0,234
5	0,697	2,157
6	0,935	1,157
7	0,441	0,839
8	0,882	1,777
9	0,003	1,600
10	0,986	0,311

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 6.

Tabla XX. **Desviación estándar del peso inicial y final del alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90**

Peso inicial (g)	Peso final (g)
0,005	0,021
0,012	0,014
0,005	0,023
0,017	0,009
0,063	0,026
0,073	0,043
0,060	0,036
0,090	0,063

Continuación de la tabla XX.

0,091	0,116
0,065	0,036
0,085	0,111
0,089	0,111
0,021	0,050
0,143	0,114
0,091	0,116
0,074	0,101
0,021	0,055
0,060	0,087

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 6.

Tabla XXI. **Desviación estándar del recubrimiento de zinc en alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90**

Recubrimiento de zinc en alambre BWG-10 (g/m²)
9,159
9,132
10,275
9,114
13,554
6,089
7,887
8,963
8,130
10,155
9,308
9,288

Continuación de la tabla XXI.

10,260
9,820
8,130
9,233
12,616
9,291

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 6.

Tabla XXII. **Desviación estándar de la concentración de hierro en los tanques de decapado de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90**

Concentración de hierro en el tanque 1 (g/L)	Concentración de hierro en el tanque 2 (g/L)
9,622	11,149
9,622	11,149
9,622	11,149
9,622	11,149
15,564	13,187
15,564	13,187
15,564	13,187
15,564	13,187
2,602	18,619
2,602	18,619
2,602	18,619

Continuación de la tabla XXII.

2,602	18,619
11,998	18,959
11,998	18,959
11,998	18,959
11,998	18,959
2,602	2,772
2,602	2,772

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 6.

Tabla XXIII. **Desviación estándar de la concentración de flux de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90**

Concentración del flux (g/L)
35,651
35,651
35,651
35,651
26,716
26,716
26,716
26,716
80,842
80,842
80,842
80,842
55,092

Continuación de la tabla XXIII.

55,092
55,092
55,092
46,685
46,685

Fuente: elaboración propia, empleando, ecuación 6.

3.8.3. Varianza

$$\sigma = S^2 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

S= desviación estándar

σ = varianza

Tabla XXIV. **Varianza de la concentración de hierro en los tanques de decapado y enjuague**

Tanque 1 (g/L) ²	Tanque 2 (g/L) ²	Tanque de enjuague (g/L) ²
24,50	1,613	54,76
111,30	5,95	49,00
3,28	4,93	39,69
20,16	1,74	28,09
107,12	5,86	56,25
41,99	1,08	17,64
24,50	1,54	50,41
134,79	20,79	24,80
305,20	22,66	27,04
79,57	0,06	26,03

Fuente: elaboración propia, empleando, ecuación 7.

Tabla XXV. **Varianza del pH, densidad y grados Baumé del flux en función de la concentración en una solución en blanco**

pH²	Densidad (g/mL)²	°Baume²
54,760	0,004	0,500
49,000	0,002	0,350
39,690	0,0003	0,210
28,090	0,002	0,070
56,250	0,0002	0,070
17,640	0,002	0,210
50,410	0,003	0,350
24,800	0,004	0,500
27,040	0,004	0,500

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 7.

Tabla XXVI. **Varianza del pH y densidad del flux del proceso en función de la concentración**

Día	pH²	Densidad (g/ml)²
1	0,0302	0,0023
2	0,0211	0,0041
3	0,0168	0,0027
4	0,0454	0,0012
5	0,0045	0,0030
6	0,0197	0,0001
7	0,0531	0,0055
8	0,0117	0,0030
9	0,0260	0,0101

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 7.

Tabla XXVII. **Varianza de la concentración del cloruro de zinc y cloruro de amonio en solución del proceso conforme al tiempo**

Día	Concentración del cloruro de zinc (g/L) ²	Concentración del cloruro de amonio (g/L) ²
1	0,9084	1,6710
2	0,1946	1,5747
3	1,1679	1,0847
4	0,1946	0,0550
5	0,4866	4,6560
6	0,8759	1,3406
7	0,1946	0,7048
8	0,7786	3,1581
9	1,43E-05	2,5625

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 7.

Tabla XXVIII. **Varianza del peso inicial y final del alambre BWG-10, analizando con la Norma ASTM-A90**

Peso inicial del alambre (g) ²	Peso final del alambre (g) ²
2,62164E-05	0,000465
0,000153667	0,000204
2,62164E-05	0,000575
0,000297458	0,000089
0,004010530	0,000726
0,005333406	0,001929
0,003709223	0,001343
0,008101380	0,004011
0,008444517	0,013490
0,004323602	0,001343

Continuación de la tabla XXVIII.

0,007160203	0,012387
0,008004648	0,013490
0,000464779	0,002567
0,020553667	0,013056
0,008444517	0,013490
0,005612491	0,010322
0,000464779	0,003082
0,003643863	0,007577

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 7.

Tabla XXIX. **Varianza del recubrimiento de zinc en el alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90**

Varianza del recubrimiento de zinc (g/m²)²
83,894
83,406
105,579
83,082
183,735
37,080
62,216
80,336
66,108
103,135
86,645
86,283
105,283
96,442

Continuación de la tabla XXIX.

66,108
85,258
159,175
86,337

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 7.

Tabla XXX. **Varianza de la concentración de hierro en los tanques de decapado de los días que se muestreó el calibre BWG-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90**

Concentración de hierro en el tanque 1 (g/L)²	Concentración de hierro en el tanque 2 (g/L)²
92,5763	124,3143
92,5763	124,3143
92,5763	124,3143
92,5763	124,3143
242,2313	173,8952
242,2313	173,8952
242,2313	173,8952
242,2313	173,8952
6,771121	346,6943
6,771121	346,6943
6,771121	346,6943
6,771121	346,6943
143,9642	359,4543
143,9642	359,4543
143,9642	359,4543

Continuación de la tabla XXX.

143,9642	359,4543
6,771121	7,6835
6,771121	7,6835

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 7.

Tabla XXXI. **Varianza de la concentración de flux de los días que se muestreó el calibre de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90**

Concentración del flux (g/L)²
1270,964
1270,964
1270,964
1270,964
713,721
713,721
713,721
713,721
6535,468
6535,468
6535,468
6535,468
3035,155
3035,155
3035,155
3035,155
2179,578
2179,578

Fuente: elaboración propia, empleando ecuación 7.

3.9. Plan de análisis de los resultados

El esquema la conceptualización de los estándares de acción, determinar decisiones a tomar, determinar la necesidad de información, desarrollar el plan de delimitados análisis cuantificables, especificar el tipo de información necesaria, definir los objetivos en un plazo determinado de investigación en respuesta a la necesidad de información.

3.9.1. Presentación técnica

Es la presentación de los datos obtenidos a nivel laboratorio, así como los análisis visuales y de temperatura a través de un software.

3.9.2. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Método de titulación

Dato de lectura = volumen consumido que determinará la concentración del flux.

3.9.3. Programas utilizados para análisis de datos

- Microsoft Excel 2007
Hoja de cálculo electrónica utilizada para automatizar diversas operaciones matemáticas y hacer un bosquejo de gráficos para cumplir algunos objetivos de la investigación.
- Microsoft Visio 2010
Software que facilitó la elaboración de diagramas de flujo.

4. RESULTADOS

4.1. Cantidad necesaria de muestras de materia prima para obtención de datos representativos

A continuación en la tabla XXXII se detalla la cantidad necesaria de muestras de materia prima para la obtención de datos representativos.

Tabla XXXII. **Cantidad de muestras de materia prima por módulo**

Módulo	Rollos de alambre por módulo	Cantidad de muestras
1	45	24
2	65	32
3	61	30
4	65	32
5	45	24
6	61	30
7	95	48
8	95	48

Fuente: elaboración propia, empleando las ecuaciones 8 y 9 del apéndice 2.

Tabla XXXIII. **Concentración de hierro en los tanques de decapado**

Día	Concentración de Fe en tanque decapado 1 (g/L)	Concentración de Fe en tanque de decapado 2 (g/L)
1	49,7	17,5
2	96,2	14,0
3	70,0	28,0
4	51,1	25,3
5	95,6	28,6
6	84,0	18,2
7	49,7	17,6
8	99,4	35,0
9	12,15	7,0
10	37,8	22,1

Fuente: elaboración propia, empleando las ecuaciones 8 y 9 del apéndice 2.

Tabla XXXIV. **pH en el tanque de enjuague después del decapado**

Día	pH tanque de enjuague
1	7,4
2	7,0
3	6,3
4	5,3
5	7,5
6	4,2
7	7,1
8	4,98
9	5,2
10	7,2

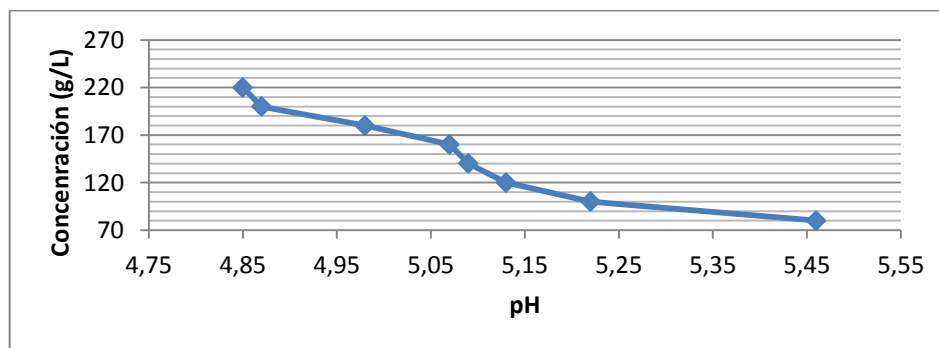
Fuente: elaboración propia, empleando las ecuaciones 8 y 9 del apéndice 2.

Tabla XXXV. **Concentración del flux en función del pH en solución en blanco**

pH	Concentración del flux (g/L)
4,85	220
4,87	200
4,98	180
5,07	160
5,09	140
5,13	120
5,22	100
5,46	80

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico, planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 12. **Curva de calibración para determinar la concentración del flux por medio del pH**



Curva	Modelo matemático	Correlación	Intervalo de validez
	$C = -237,22pH + 1\ 356$	$R^2 = 0,9164$	4,75-5,55

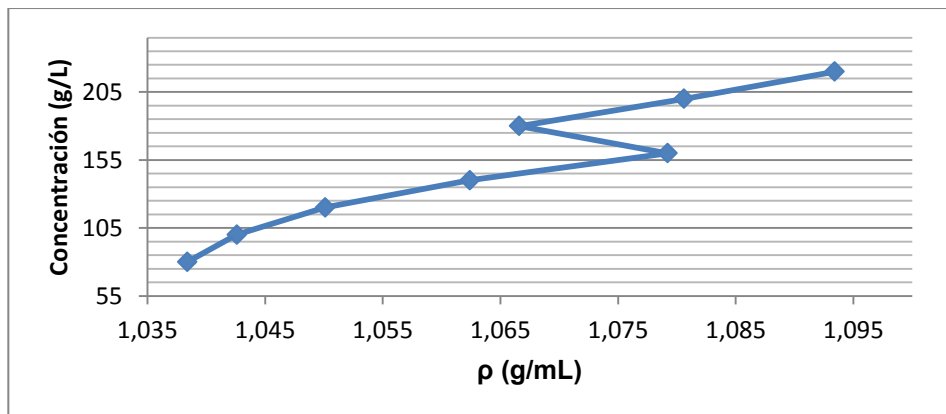
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXV.

Tabla XXXVI. **Concentración del flux en función de la densidad en solución en blanco**

Densidad (g/mL)	Concentración del flux (g/L)
1,0934	220
1,0806	200
1,0666	180
1,0792	160
1,0624	140
1,0501	120
1,0426	100
1,0384	80

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico, planta galvanizado, Sidegua.

Figura 13. **Curva de calibración para determinar la concentración del flux por medio de la densidad**



Curva	Modelo matemático	Correlación	Intervalo de validez
	$C = 2\,387\rho - 2\,390.2$	$R^2 = 0,9112$	1,035-1,095

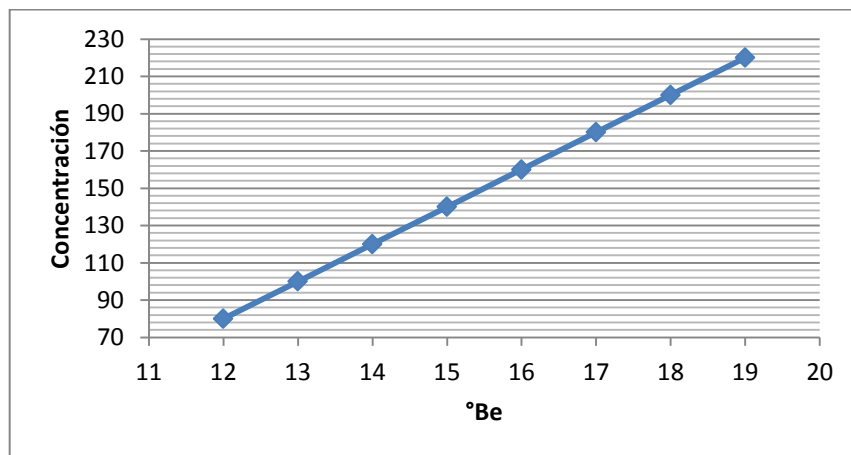
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXVI.

Tabla XXXVII. **Concentración del flux en función de los grados Baumé en solución en blanco**

Concentración del flux (g/L)	°Baume
220	19
200	18
180	17
160	16
140	15
120	14
100	13
80	12

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico, planta galvanizado, Sidegua.

Figura 14. **Curva de calibración para determinar la concentración del flux por medio de los grados Baumé**



Curva	Modelo matemático	Correlación	Intervalo de validez
	$C = 20Be - 160$	$R^2 = 1$	12-20

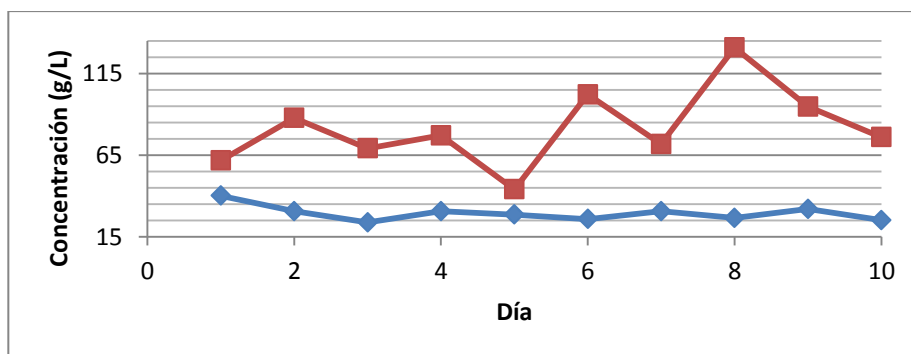
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXVII.

Tabla XXXVIII. **Concentración del cloruro de zinc y amonio en solución del proceso**

Día	Concentración ZnCl ₂ (g/L)	Concentración NH ₄ Cl (g/L)	Concentración del flux (g/L)	Cant. de flux agregado (kg)
1	40,1967	61,7004	131,0432	
2	30,6585	87,7635	40,0544	
3	23,8455	69,1470	46,5536	45,4500
4	30,6585	77,1255	3,2256	
5	28,6146	44,1477	79,0496	68,1600
6	25,8894	86,1248	42,2208	
7	30,6585	71,8065	152,7072	45,4500
8	26,5707	98,8474	89,8816	
9	32,0211	94,6782	111,5456	22,7200
10	25,2081	76,0617	24,8896	

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico, planta galvanizado, Sidegua.

Figura 15. **Concentración del cloruro de zinc y amonio en función de los días**



Curva	Modelo matemático	Correlación	Intervalo de validez
ZnCl ₂ (g/L)	$C = -0,6937\text{día} + 33,247$	$R^2 = 0,201$	0-10
NH ₄ Cl (g/L)	$C = 3,2011\text{día} + 63,934$	$R^2 = 0,164$	0-10

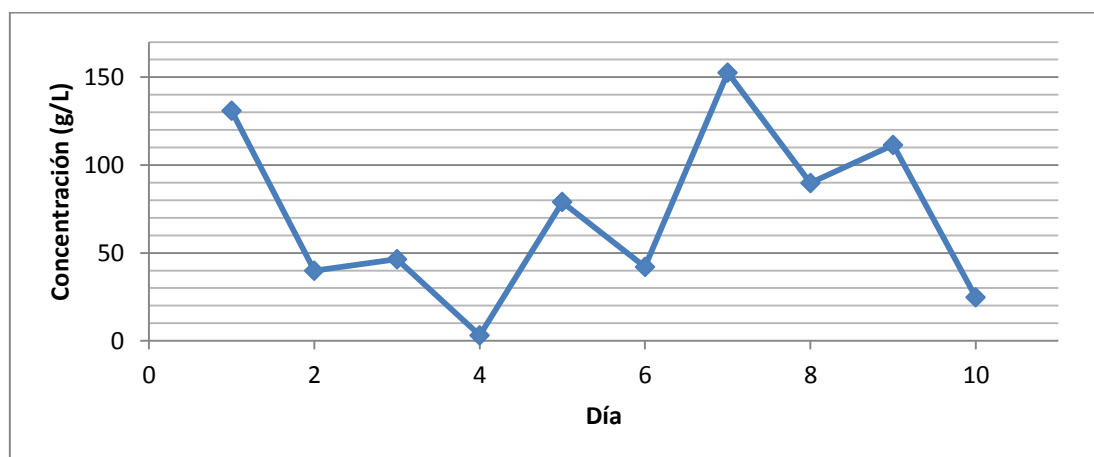
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXVIII.

Tabla XXXIX. **Concentración del flux del proceso por medio de curva de calibración de pH**

Día	pH flux	Concentración curva pH (g/L)
1	5,37	130,88
2	5,79	39,88
3	5,76	46,38
4	5,96	3,04
5	5,61	78,88
6	5,78	42,04
7	5,27	152,54
8	5,56	89,71
9	5,46	111,38
10	5,86	24,71

Fuente: elaboración propia, con datos de la figura 15.

Figura 16. **Concentración del flux por medio de curva de calibración de pH en función de los días**



Curva	Modelo matemático	Correlación	Intervalo de validez
	$C = 1,0505\text{pH} + 66,17$	$R^2 = 0,0042$	0-10

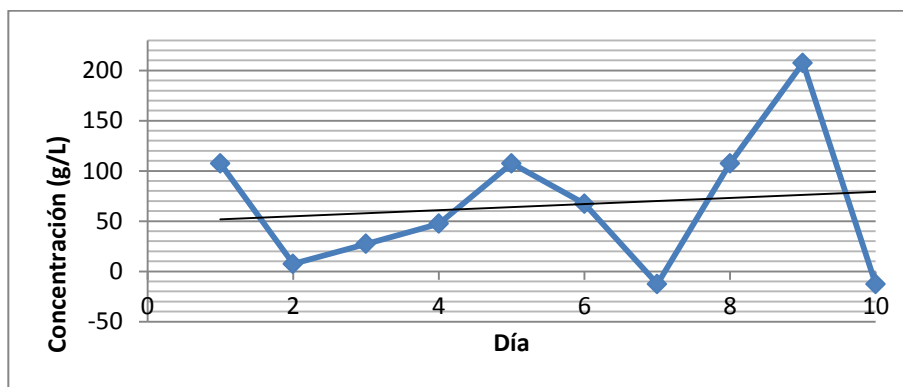
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXXIX.

Tabla XL. **Concentración del flux del proceso por medio de curva de calibración de densidad**

Día	Densidad (g/mL)	Concentración curva densidad (g/L)
1	1,04	107,40
2	0,99	7,40
3	1,00	27,40
4	1,01	47,40
5	1,04	107,40
6	1,02	67,40
7	0,98	-12,60
8	1,04	107,40
9	1,09	207,40
10	0,98	-12,60

Fuente: elaboración propia, con datos de la figura 16.

Figura 17. **Concentración del flux por medio de curva de calibración de la densidad en función de los días**



Curva	Modelo matemático	Correlación	Intervalo de validez
	$C = 3,0303P + 48,733$	$R^2 = 0,0177$	0-10

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XL.

Tabla XLI. **Inspección visual del alambre al disminuir la temperatura de secado del flux**

Temperatura 145 °C			
Calibre	Inspección visual		
	M.P	R.P	P.P
08			
09			
10 ¼		X	
12			
12 ¼			
12 ½			
13	X		
13 ¼	X		
13 ¾			
14			
14 ¼			
14 ¾			
15			
15 ¾	X		
16			
17 ¼		X	

Fuente: elaboración propia, con datos de pruebas realizada en la planta de galvanizado, Sidegua.

4.2. **Medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90**

Los datos fueron tomados durante 5 días y estos dependen del volumen de la producción, para estas pruebas se utilizó el calibre núm.10.

Tabla XLII. **Peso inicial, final y recubrimiento de zinc del alambre calibre BWG-10, analizado con la Norma ASTM-A90**

Día	Diámetro de la muestra (mm)	Peso inicial de la muestra (g)	Peso final de la muestra (g)	Recubrimiento de zinc de la muestra (g/m ²)
Día 1	3,41	14,25	14,14	51,99
Día 1	3,41	14,28	14,17	51,88
Día 1	3,40	14,25	14,13	56,60
Día 1	3,41	14,30	14,19	51,81
Día 2	3,42	14,49	14,34	70,12
Día 2	2,41	14,53	14,41	39,34
Día 2	3,43	14,48	14,38	46,75
Día 2	3,44	14,60	14,49	51,18
Día 3	3,35	13,85	13,75	47,75
Día 3	3,43	14,50	14,38	56,10
Día 3	3,36	13,88	13,77	52,61
Día 3	3,35	13,86	13,75	52,52
Día 4	3,37	14,14	14,02	56,53
Día 4	3,42	14,82	14,70	54,72
Día 4	3,35	13,85	13,75	47,75
Día 4	3,35	13,92	13,81	52,30
Día 5	3,38	14,14	14,00	66,24
Día 5	3,38	13,98	13,87	52,54

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por el Laboratorio de Análisis Físicoquímico de la planta de galvanizado, Sidegua y empleando la ecuación 8.

4.3. Concentración de hierro en los tanques de decapado y concentración del flux en los días que se muestreó el calibre BGW-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM-A90

A continuación en la tabla XLIII se muestra la concentración de hierro en los tanques de decapado y concentración del flux en los días que se muestreó el calibre BGW-10, para medición de pérdida de masa y cantidad de adherencia de zinc con base en la Norma ASTM A90.

Tabla XLIII. Concentración de hierro en los tanques de decapado y concentración del flux en los días que se muestreó el calibre BWG-10, con base en la Norma ASTM-A90

Día	Concentración de Fe (g/L) tanque 1	Concentración de Fe (g/L) tanque 2	Concentración del flux (g/L)
Día 1	53,90	60,20	161,20
Día 2	78,40	68,60	124,30
Día 3	3,50	91,00	347,50
Día 4	63,70	92,40	241,30
Día 5	3,50	2,80	206,70

Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por el Laboratorio de Análisis Físicoquímico de la planta de galvanizado, Sidegua.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La evaluación del proceso de galvanizado para la mejora de la calidad y aspecto del producto final se inició inspeccionando la materia prima. Se encontró que el proceso de muestreo no es el más adecuado, ya que solo se muestrean tres rollos de alambón, de un total de 532, lo cual no es una muestra representativa. Por medio de cálculos estadísticos, se determinó que la cantidad de muestras que se deben tomar para que los análisis sean representativos son, para módulos con 45 rollos, 24 muestras; para módulos con 65 rollos, 32 muestras; para módulos con 61 rollos, 30 muestras y para módulos de 95 rollos, 48 muestras, (ver la tabla XXXII). Se debe tomar en cuenta que el cálculo se realizó con un nivel de confianza de 95 %, si se desea tomar menor cantidad de muestras el nivel de confianza debe disminuir.

Se prosiguió con el análisis de los tanques de decapado y, como se muestra en la tabla XXXIII, la concentración de hierro en algunas ocasiones se mantuvo por encima de los 90 g/L en el tanque 1, que es lo establecido para que el funcionamiento del ácido sea el óptimo, los tanques cumplan con la función de eliminar las impurezas del alambre trefilado y la adherencia del flux sea adecuada. Pero, en el tanque 2 la concentración de hierro se mantiene menor a los 90 g/L, con lo que se establece que este parámetro está siendo bien controlado y no afecta el proceso. Luego del paso por el tanque de decapado, se encuentra un área de enjuague, la cual, en el último paso, debe tener un pH de 7. Los análisis realizados al área de enjuague se muestran en la tabla XXXIV y se observó que el pH llega hasta 2,6 lo cual significa que está pasando ácido al siguiente paso, que es el tanque de flux.

La solución a este problema es mantener el flujo de agua a 800 – 1 000 L/ton de alambre procesado y mantener las boquillas en los sistemas de drenado por aire libres de obstrucciones, para que el aire salga en una misma dirección, también se debe mantener las boquillas lo más cercanas al alambre. En el apéndice 3, figura 6, se observa que el ángulo de inclinación y limpieza de las boquillas no es la adecuada para el secado óptimo.

El siguiente subproceso a analizar fue el paso de los alambres por el tanque de flux. Primero se realizaron curvas de calibración de pH, densidad y grados Baumé con soluciones en blanco del flux, para comprobar, con soluciones del proceso, qué método es más funcional para medir la concentración del flux. Estas curvas se realizaron en un rango de 80 a 220 g/L, ya que es la concentración permitida en el tanque de flux. La figura 11 muestra la curva de calibración de pH con una correlación de 0,9164, la figura 12 muestra la curva de calibración de la densidad con una correlación de 0,9119 y la figura 13 la de los grados Baumé con correlación de 1.

Luego, se procedió a medir la concentración del flux del proceso, por medio de las curvas de calibración. La figura 15 muestra la concentración en función del pH, la tabla XL, juntamente con la figura 16, muestra la concertación en función de la densidad. Se determinó que el método más funcional para medir la concentración del flux es el del pH, ya que el potenciómetro tiene un menor rango de incerteza con $\pm 0,001$, el densímetro y aerómetro de grados Baumé tienen una incerteza de $\pm 2,5$. Se observó que la concentración del flux fue negativa en rangos de pH fuera de la curva de calibración, por lo tanto se recomienda buscar otro método de medición de flux.

También se analizó la concentración del flux con el paso de los días, como lo muestra la tabla XXXVII, se observó que la menor fue de 3,22 g/L en el día 4 y la mayor de 152,70 g/L en el día 7. En el día 4 no se agregó flux al tanque y en el día 7 se agregó 45,5 kg. En este paso se tendría que buscar un método para agregar flux al tanque en función de las toneladas de alambre a procesar, para no tener problemas con concentraciones bajas y que la adherencia de flux sea la misma para todos los alambres. También se analizó la concentración de cloruro de zinc y cloruro de amonio, tabla XXXVIII y figura 14, se observó que este se mantuvo en equilibrio, ya que se conserva según especificaciones con concentraciones, de cloruro de zinc en un rango de 25 - 60 % y cloruro de amonio de 40 – 75 % m/v, el flux se degrada pero no pierde equilibrio.

También se realizaron pruebas con la temperatura de secado del flux, ya que esta se mantiene en un rango de 180 – 200 °C, y según especificaciones la película de fundente flux (Zaclon K) soporta temperatura hasta 150 °C sin dañarse. Una opción para utilizar la temperatura de secado que se utiliza en el proceso sin que el fundente se dañe es el Zaclon C&CS, ya que tiene una mejor estabilidad térmica comparado con el Zaclon F o K, este soporta temperaturas hasta 191 °C y es particularmente útil en aplicaciones de galvanización de alambre e hilos.

Se realizaron pruebas con cambio de temperatura a 145 °C con los calibres 10 ¼ , 13, 13 ¾ , 15 ¾ , 17 ¼, la prueba resulto negativa ya que las manchas blancas aparecieron en mayor cantidad como lo muestra la tabla XLI. El alambre a esta temperatura aún pasa húmedo y la relación metalúrgica del flux con el zinc no se da en óptimas condiciones, ya que las gotas de flux causan explosiones en la cama de zinc.

Por medio de la Norma ASTM-A90 se analizaron las pérdidas de masa y adherencia de zinc al alambre, en la tabla XLII se muestran los resultados de estas pruebas. Se observó que el peso del alambre calibre BGW-10 estaba en un rango de $14,53 \text{ g/m}^2$ el máximo, y $13,85 \text{ g/m}^2$, el mínimo, con lo que se deduce que las pérdidas de masa son mínimas. También se observó en la tabla XLIII que el menor recubrimiento de zinc se encuentra en el día 2, con $39,34 \text{ g/m}^2$ y este se encuentra fuera de especificación según norma interna de la empresa. Esta norma indica que el recubrimiento de zinc se debe encontrar entre $45 - 60 \text{ g/m}^2$. En el día 2, la concentración de hierro de los tanques de decapado se encontraban en $78,4 \text{ g/L}$, el tanque 1, y en $68,6 \text{ g/L}$, el tanque 2, la concentración del flux se encontraba en $124,4 \text{ g/L}$. Ninguna de estas concentraciones se encontraba fuera de los parámetros establecidos (90 g/L para los tanques de decapado y $80- 220 \text{ g/L}$ para el tanque de flux).

También se observó en el día 5 que el recubrimiento de zinc se encontraba en $66,25 \text{ g/m}^2$ y los tanques de decapado con un pH de 3,5 y 3,8 , el tanque de flux en $206,7 \text{ g/L}$, ninguno de ellos fuera de los parámetros establecidos. Con esto se puede concluir que las variables operacionales, concentración de hierro y flux, temperatura de secado de flux y pH, de los tanque de enjuague, del proceso de galvanizado están controladas y no afectan la calidad de la apariencia del alambre galvanizado.

6. CRONOGRAMA

En el siguiente cronograma se presenta una lista de todos los elementos del proyecto, con sus fechas previstas de comienzo y final.

Figura 18. Cronograma

Núm.	Actividad	Inicio	Fin	Duración	Enero			Febrero					Marzo		
					29	30	31	7	24	25	26	27	28	15	20
1	Elaboración del perfil	29/01/2014	07/02/2014	7 días	■										
2	Aprobación de perfil	24/02/2014	24/02/2014	1 día				■							
3	Incorporación	25/02/2014	25/02/2014	1 día				■							
4	Inducción de seguridad	26/02/2014	26/02/2014	1 día				■							
5	Visita a la planta	27/02/2014	27/02/2014	1 día				■							
6	Investigación detallada del proceso de galvanizado	28/02/2014	20/03/2014	15 días									■		

Núm	Actividad	Inicio	Fin	Duración	Abril				Mayo		Junio			Julio		
					1	2	9	10	1	30	6	9	30	1	15	18
9	Fase experimental	02/04/2014	30/06/2014	60 días	■											
10	Elaboración de diagrama de flujo del proceso de galvanizado	02/04/2014	09/04/2014	5 días	■											
11	Realizar pruebas al flux	10/04/2014	06/06/2014	40 días	■											
12	Realizar pruebas con temperatura	07/06/2014	30/06/2014	15 días					■							
13	Elaboración de informe de resultado de pruebas para presentar a la empresa	01/07/2014	15/07/2014	10 días							■					
14	Presentación de resultados y conclusiones a la empresa	18/07/2014	18/07/2014	1 día										■		

Fuente: elaboración propia.

7. PRESUPUESTO

7.1. Reactivos

Toda sustancia que interactúa con otra en una reacción química que da lugar a otras sustancias de propiedades.

Tabla XLIV. Costo de reactivos

Cantidad	Reactivo	Presentación	Costo
1	Formaldehido	4 L	Q 772,80
1	Cloruro de amonio	1 Kg	Q 945,00
1	Hidróxido de amonio	1 L	Q 230,00
1	Negro de ericromo T	5 g	Q 97,60
1	EDTA	250 g	Q 715,00
1	Nitrato de plata	250 mL	Q 836,65
1	Dicromato de potasio	32 oz	Q 462,90
1	Naranja de metilo	250 mL	Q 442,40
1	Ácido clorhídrico	1 L	Q 262,08
1	Agua destilada	Garrafón	Q 70,00
1	Sal Flux	Bolsa de 50 Lb	Q 505,00
		Total	Q 4897,03

Fuente: Laboratorio de la Planta de Trefilado, Sidegua.

7.2. Insumos

Es todo aquello disponible para el uso y el desarrollo de la vida humana, desde lo que encontramos en la naturaleza, hasta lo que creamos nosotros mismos, es decir la materia prima.

Tabla XLV. **Costo de insumos utilizados en el laboratorio**

Cantidad	Descripción	Costo
1	Jabón para lavar cristalería	Q 15,00
1	Desinfectante	Q 30,00
1	Jabón para manos	Q 10,00
3	Mayordomo	Q 20,00
	Total	Q 75,00

Fuente: Laboratorio de la Planta de Trefilado, Sidegua.

CONCLUSIONES

1. Las variables operacionales, concentración de hierro, concentración de flux, temperatura de secado de flux y pH de los tanques de enjuague, del proceso de galvanizado se encuentran en los parámetros establecidos, por lo tanto la calidad del alambre galvanizado no se ve afectada por los mismos.
2. Se estableció el diseño estadístico para el control muestral de la empresa, para que este sea representativo con un total de 266 muestras de una población de 532 rollos de alambre.
3. El método más factible para medición de concentración del flux es por medio de la curva de calibración de pH.
4. La concentración del flux fue variable con el transcurso de los días pero los componentes, cloruro de amonio y zinc, mantuvieron sus proporciones establecidas.
5. La degradación del flux no afecta la calidad del producto terminado ya que las imperfecciones del alambre galvanizado no fueron frecuentes al tener una concentración menor a los parámetros establecidos.
6. La temperatura de secado de flux de 200 °C no es la adecuada ya que este solo soporta los 150 °C sin dañarse.

7. Debido a que las variables operacionales del proceso se encuentran entre los límites establecidos, no afectan la adherencia de zinc porque el día donde el recubrimiento, evaluado por la norma ASTM-A90, fue menor a la norma establecida por la empresa, los valores de concentración del flux y hierro se encontraban dentro de los límites operacionales establecidos.

8. Se cuantificaron las pérdidas de masa y cantidad de adherencia de zinc en base a la norma ASTM-A90, siendo las pérdidas de masa las mínimas con un 0,12g de pérdida promedio y la cantidad de adherencia de zinc en un promedio de 53 g/m² que cumple con la norma interna que comprende un rango de 45-60 g/m².

RECOMENDACIONES

1. Implementar un método estadístico para que la toma de muestras de materia prima sea significativo.
2. Limpiar el alambre trefilado de los restos de polvo de trefilación antes del paso por el horno de recocido.
3. Mantener el pH del tanque de enjuague de ácido en un rango de 6 a 7.
4. Realizar una limpieza constante a todo el equipo para mantener su buen funcionamiento.
5. Utilizar Zaclon C&CS, ya que por su composición tiene más resistencia a las altas temperaturas.
6. Investigar un método que determine la concentración del flux con base en la cantidad de producción de alambre galvanizado.
7. Determinar un sistema de recarga del tanque de flux en función de la cantidad de producción de alambre galvanizado.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMEIDA, Marcelo. *Boletín electrónico. Galvanización por inmersión en caliente*. [en línea]. <<https://www.ABTS%20%20Boletin%20Electrónico%20%20Acabados%20superficiales.htm>>. [Consulta: 4 de febrero de 2014].
2. American Iron and Steel Institute. USA: *SAE- AISI 1008*, 2013. 340 p.
3. American Society for Testing Materials. *ASTM A 641/A 641M-03*. USA: ASTM, 2013. 239 p.
4. Asociación Latinoamericana de Zinc ICZ. *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. Perú: LATIZA, 2010. 54 p.
5. Comité de calidad en las industrias siderúrgicas de UNESID. *Álbum de defectos de productos siderúrgicos parte VII SPAINFO*, 1990. 245 p.
6. FERRER GIMÉNEZ, Carlos. *Tecnología de los materiales*. Valencia: UPV, 2005. 560 p. ISBN 970-15-0879-3.
7. MASS, Peter; PEISSKER Peter. *Handbook of hot- dip galvanization*. Alemania: WILEY VCH, 2011. 494 p. ISBN-10: 3527323244, ISBN-13: 978-3527323241

8. WOODS, Robert; COLE James. *Galvanizing zaclon handbook*. USA: LATIZA, 1996. 500 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tamaño de las muestras

Tabla I. **Composición química para galvanizado (celeste)**

Calibre	Grado	Criterio				
		C	Mn	S	P	Si
14 al 17 ¼	1 006	0,06 a 0,08	0,35 Máx.	0,030 Máx.	0,020 Máx.	0,20 Máx.
8 al 3 ¾	1 008	0,06 a 0,08	0,35 Máx.	0,030 Máx.	0,030 Máx.	0,20 Máx.

Fuente: Laboratorio de la Planta de Trefilado, Sidegua.

Tabla II. **Composición química para alambre de amarre (azul)**

Calibre	Grado	Criterio			
		C	Mn	S	P
N.A	1 006	0,05 Máx.	0,35 Máx.	0,025 Máx.	0,020 Máx.

Fuente: Laboratorio de la Planta de Trefilado, Sidegua.

Tabla III. **Composición química para clavo (naranja)**

Calibre	Grado	Criterio			
		C	Mn	S	P
½" a 1 ½"	1 006	0,06 a 0,08	0,35 Máx.	0,030 Máx.	0,030 Máx.
2" a 8"	1 008	0,08 a 0,10	0,45 Máx.	0,030 Máx.	0,030 Máx.

Fuente: Laboratorio de la Planta de Trefilado, Sidegua.

La materia prima se clasifica por grado:

- Grado 1008
- Grado 1006

Grado 1008 hay 171 rollos distribuido en 3 módulos:

- Primer módulo 45 unidades
- Segundo módulo 65 unidades
- Tercer módulo 61 unidades

Grado 1006 hay 361 rollos distribuido en 5 módulos:

- Cuarto módulo 65 unidades
- Quinto módulo 45 unidades
- Sexto módulo 61 unidades
- Séptimo módulo 95 unidades
- Octavo módulo 95 unidades

Total 532 rollos

Para comprobar que la composición sea la que el proveedor indica, se realiza un muestreo una vez a la semana los días lunes, se toma, tres muestras al azar de cualquier rollo de alambón, una para galvanizado, alambre y otra para clavo. Este muestreo no es representativo ya que no se puede realizar diversas comparaciones, por lo tanto, por medio de análisis estadísticos se determinará el número de muestras adecuadas que se deben tomar para tener una mejor comparación con los datos enviados por el proveedor.

Apéndice 2. **Estandarización y análisis estadístico del proceso de muestreo de materia prima**

Para obtener una muestra representativa de la materia prima y poder realizar gráficas comparativas con los resultados que el proveedor envía se realizó un análisis estadístico para obtener el número de muestras necesarias para obtener resultados representativos. Se aplicara la siguiente fórmula para obtener el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2(N-1)}{z^2 pq}} \text{ (ecuación 8)}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra que deseamos

N= tamaño conocido de la población

e= error muestral

z= nivel de confianza

pq= varianza constante de 0,25

Para obtener el error muestral se utiliza la siguiente fórmula:

$$e = \frac{0,98}{\sqrt{N}} \text{ (ecuación 9)}$$

Donde:

e= error muestral

N= tamaño conocido de la población

Si se realiza una distribución por grados, los resultados son los siguientes

- Grado 1008

- Primer módulo 45 unidades

Error = 0,14

Z = 1,96

$$n = \frac{45}{1 + \frac{0,14^2(45 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 24 \text{ muestras}$$

- 12 galvanizado
- 12 clavo

- Segundo módulo 65 unidades

$$n = \frac{65}{1 + \frac{0,121^2(65 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 32 \text{ muestras}$$

- 16 galvanizado
- 16 clavo

- Tercer módulo 61 unidades

$$n = \frac{61}{1 + \frac{0,125^2(61 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 30 \text{ muestras}$$

- 15 galvanizado
- 15 clavo
- Grado 1006

Hay 361 rollos distribuido en 5 módulos

- Cuarto módulo 65 unidades

$$n = \frac{65}{1 + \frac{0,121^2(65 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 32 \text{ muestras}$$

- 10 amarre
- 10 galvanizado
- 10 clavo

- Quinto módulo 45 unidades

$$n = \frac{45}{1 + \frac{0,14^2(45 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 24 \text{ muestras}$$

- 8 amarre
- 8 galvanizado
- 8 clavo

- Sexto módulo 61 unidades

$$n = \frac{61}{1 + \frac{0,125^2(61 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 30 \text{ muestras}$$

- 10 amarre
- 10 galvanizado
- 10 clavo

- Séptimo módulo 95 unidades

$$n = \frac{95}{1 + \frac{0,100^2(95 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 48 \text{ muestras}$$

- 16 amarre
- 16 galvanizado
- 16 clavo

- Octavo módulo 95 unidades

$$n = \frac{95}{1 + \frac{0,100^2(95 - 1)}{1,96^2 * 0,25}} = 48 \text{ muestras}$$

- 16 amarre
- 16 galvanizado
- 16 clavo

Apéndice 3. Fotografías del proceso

Figura 1. Hornos de recocido de alambre



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 2. Pantallas de temperatura de los hornos de recocido



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 3. **Salida de los alambres de horno de recocido**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 4. **Tanques de decapado con ácido clorhídrico**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 5. **Tanques de enjuague del ácido**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 6. **Sistemas de drenado por aire**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 7. **Tanque de flux.**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 8. **Horno de secado del flux.**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 9. **Piedras de drenado paso del horno de secado de flux a la cama de zinc**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 10. **Cama de zinc**



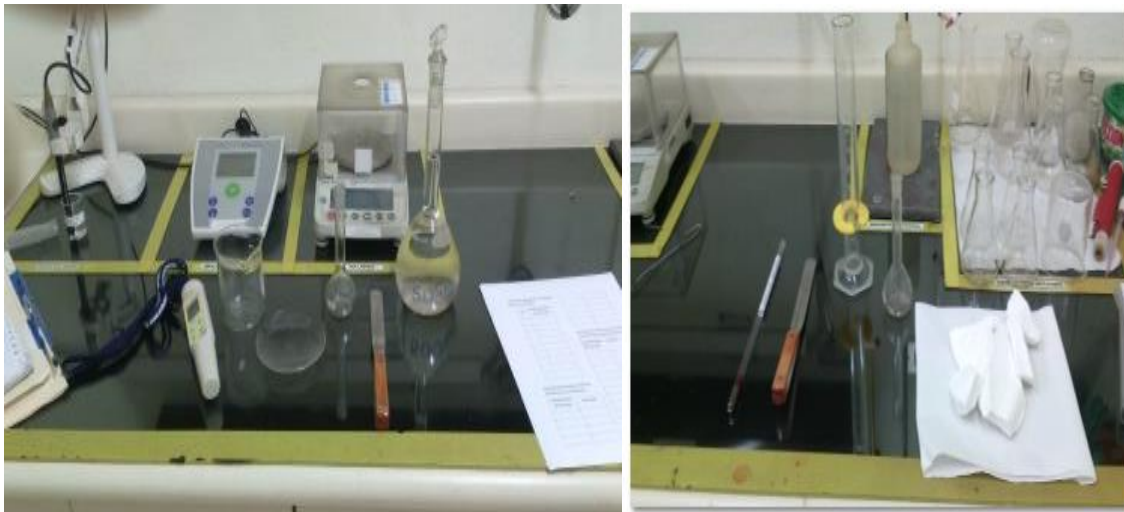
Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 11. **Canastas recolectoras de alambre galvanizado**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 12. **Equipo de laboratorio utilizado para muestreo de flux en soluciones en blanco**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 13. **Reactivos utilizados en pruebas con el flux**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 14. **Titulación para encontrar concentración de cloruro de amonio en el flux**



Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Figura 15. **Titulación para encontrar la concentración del cloruro de zinc en el flux**



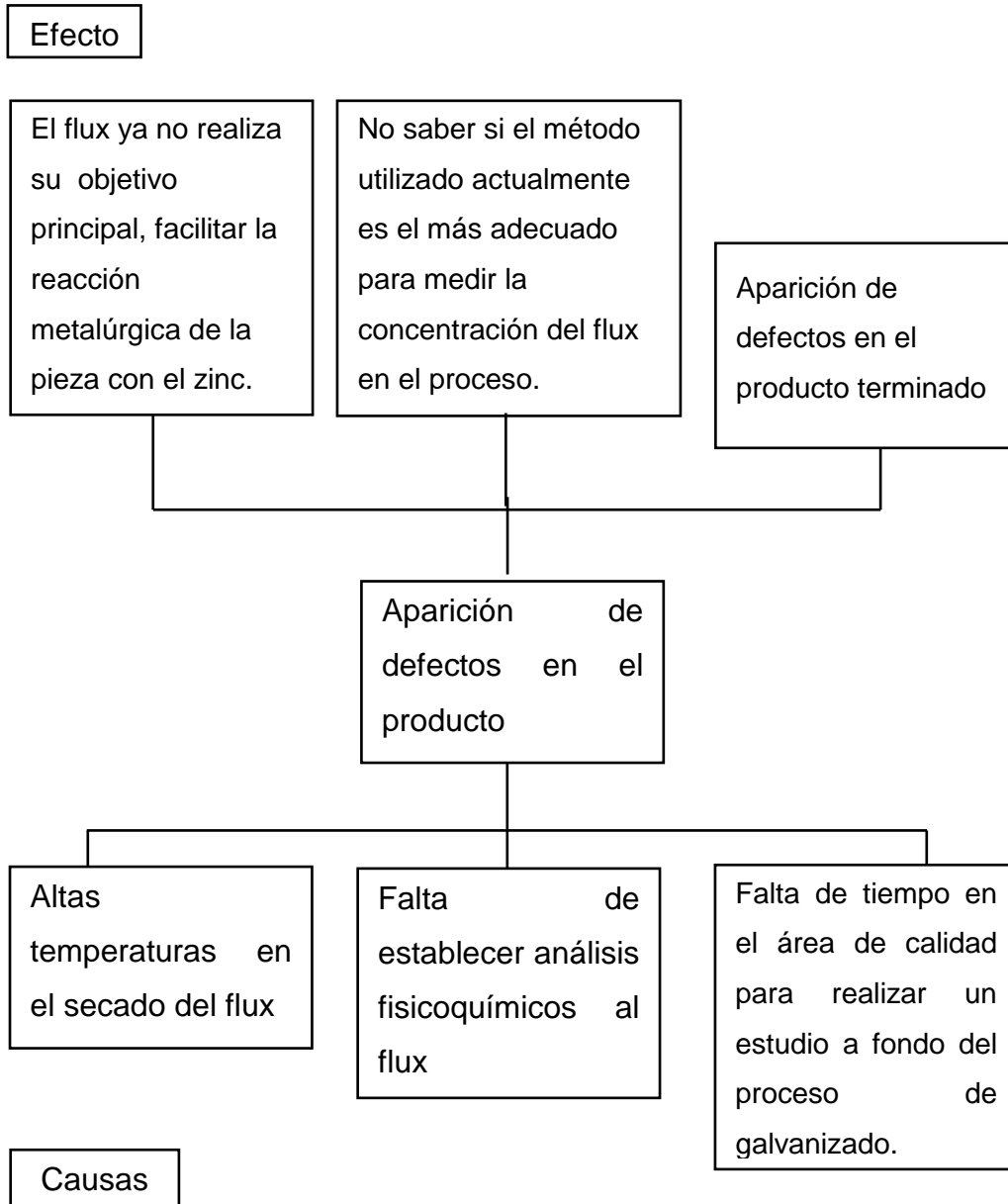
Fuente: planta de galvanizado, Sidegua.

Apéndice 4. **Requisitos académicos para la carrera de Ingeniería Química**

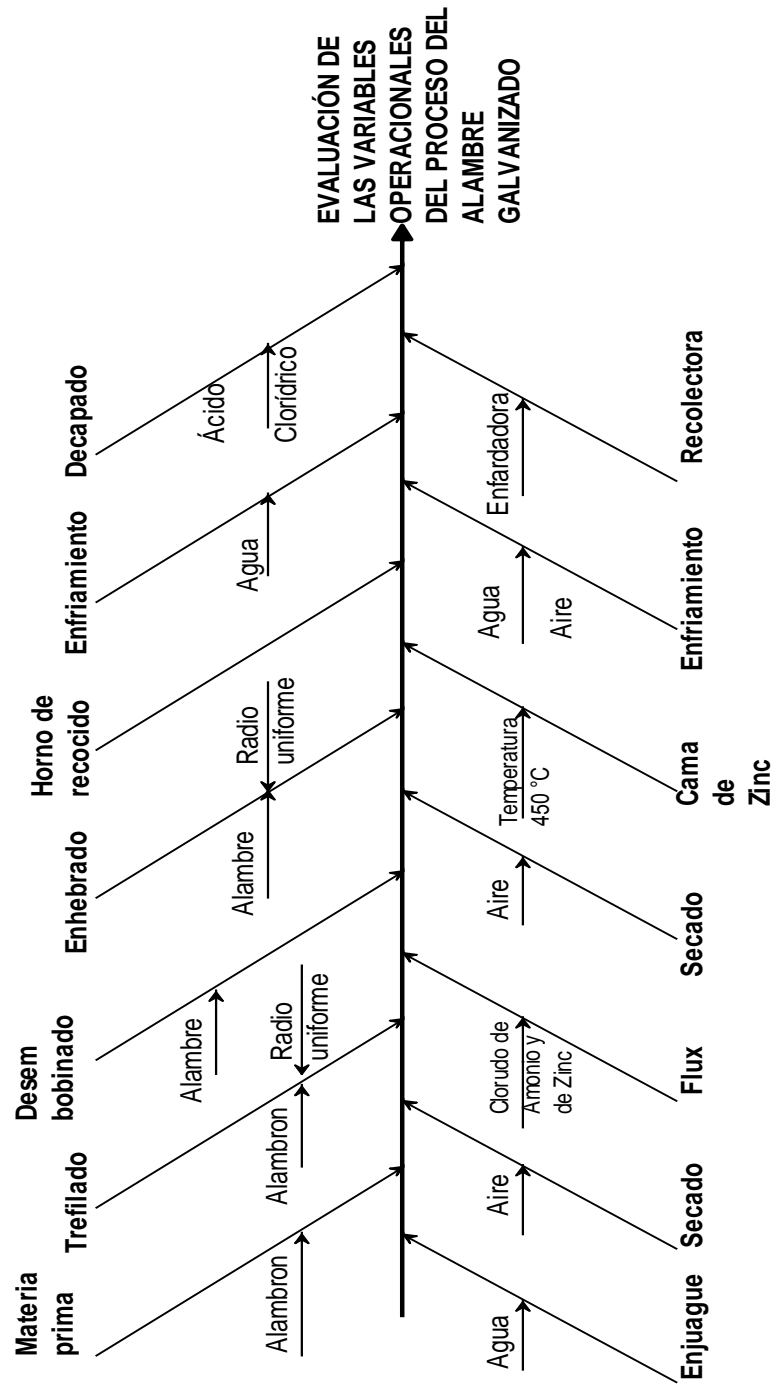
Área	Curso	Tema
Química	Química 3 y 4	Soluciones
	Análisis cualitativo	Soluciones acuosas
	Análisis cuantitativo	Errores de medición
Operaciones Unitarias	Transferencia de calor (IQ3)	Transferencia de calor
	Transferencia de masa (IQ5)	Secado
Fisicoquímica	Fisicoquímica 1 y 2	Equilibrio Químico
	Termodinámica 3 y 4	Leyes de la
Área de ciencias básicas y complementaria	Técnicas de estudio e investigación	Método de experimental
	Ingeniería económica	Presupuesto
	Estadística 1	Análisis de datos
	Ciencia de los materiales	Trefilado de metales

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

