ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA PIEZAS ELÉCTRICAS AUTOMOTRICES (PERNOS, PLATINAS, TORNILLOS, TERMINALES DE BATERÍA) CON PRODUCCIÓN A MEDIANA ESCALA

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QÍMICO

AUTOR: JORDAN HERNAN FLORES LOZANO

DIRECTORA: Ing. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZ MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Jordan Hernan Flores Lozano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JORDAN HERNAN FLORES LOZANO, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de mayo del 2022

Firmado electrónicamente por:
JORDAN HERNAN
FLORES LOZANO

Jordan Hernan Flores Lozano

080390037-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Técnico. **DISEÑO DEL PROCESO DE GALVANIZADO PARA PIEZAS ELÉCTRICAS AUTOMOTRICES (PERNOS, PLATINAS, TORNILLOS, TERMINALES DE BATERÍA) CON PRODUCCIÓN A MEDIANA ESCALA,** realizado por el señor: **JORDAN HERNAN FLORES LOZANO,** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	**FECHA**
Ing. Iliana Elizabeth Carrera Flores Mgtr. **PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**	ILIANA ELIZABETH CARRERA FLORES Firmado digitalmente por ILIANA ELIZABETH CARRERA FLORES Fecha: 2022.06.29 16:58:59 -05'00'	2022-05-13
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuez MSc. **DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN**	Firmado electrónicamente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA	2022-05-13
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos MSc. **MIEMBRO DEL TRIBUNAL**	Firmado electrónicamente por: ADRIAN ALEJANDRO RODRIGUEZ PINOS	2022-05-13

DEDICATORIA

A mi madre, quien estuvo conmigo cuidándome ante cada tropiezo, quien me enseñó a ser fuerte, valiente, leal y con mis principios siempre por delante. A mis hermanas por ser una fuente de inspiración poderosa, que con sus ejemplos lograron poner nuevas metas a superar. A mis amigos los cuales con esmero me alentaron para no rendirme en el proceso y sobre todo a mi padre, quien con su sacrificio ha logrado formar a sus hijos profesionalmente, y sobre todo por enseñarme que con perseverancia y disciplina se pueden lograr grandes cosas. A mis amigos Wilmer, Oscar y Elvis quienes fueron un pilar fundamental para poder concluir este trabajo.

Jordan

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a mi amada alma mater, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por permitirme haber vivido una de las mejores etapas de mi vida, a todos los profesores de la carrera de ingeniería química, que con su trabajo y esfuerzo han logrado contribuir a mi formación profesional. A "3SSENCE" quien fue parte del proceso por permitirme realizar este proyecto con su apoyo. A mis amigos, por las experiencias que me han permitido vivir y hacerme ver la vida desde otra perspectiva, por los momentos que lograron que mi paso por la universidad sea más ligera y llevadera, por sacarme de mi zona de confort y enseñarme muchísimas cosas para crecer como persona, a K8, por abrirme un nuevo camino y deslumbrar nuevos objetivos por delante. Por sobre todo a mis padres que me han permitido cumplir con este anhelado objetivo.

Jordan

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS xiii
ÍNDICE DE ANEXOS xiv
RESUMEN xv
ABSTRACT xvi
INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA 2
1.1. Identificación del problema 2
1.2. Justificación del proyecto 2
1.3. Beneficiarios directos e indirectos 3
1.3.1. *Beneficiarios Directos* 3
1.3.2. *Beneficiarios Indirectos* 3
1.4. Localización del proyecto 4
1.5. Objetivos 4
1.5.1. *Objetivo General* 4
1.5.2. *Objetivos Específicos* 4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS 5
2.1. Corrosión 5
2.2. Causa de la corrosión 5
2.3. Potencial electroquímico 7
2.4. Tipos de corrosión 8
2.4.1. *De acuerdo al ambiente en el que se desarrolla* 8
2.4.1.1. *Corrosión química* 8
2.4.1.2. *Corrosión galvánica* 9
2.4.1.3. *Corrosión electroquímica* 9
2.4.2. *De acuerdo a su morfología* 10

2.4.2.1. *Corrosión heterogénea* 10
2.4.3. ***De acuerdo a su mecanismo*** 10
2.4.3.1. *Corrosión por fisuras* 10
2.4.3.2. *Corrosión por erosión* 11
2.4.3.3. *Corrosión por picaduras o pitting* 12
2.4.3.4. *Corrosión por microorganismos (microbiológico)* 12
2.4.3.5. *Corrosión por exfoliación* 13
2.4.3.6. *Corrosión selectiva* 13
2.4.3.7. *Corrosión intergranular* 14
2.4.3.8. *Corrosión por tensión* 14
2.4.3.9. *Corrosión por fatiga* 15
2.5. **Fundamentos primordiales sobre electroquímica** 15
2.5.1. ***Generalidades*** 15
2.5.2. ***Diagramas de Pourbaix*** 16
2.5.3. ***Recubrimientos metálicos*** 17
2.5.4. ***Electrogalvanizado*** 18
2.5.5. ***Baños electrolíticos*** 18
2.5.5.1. *Electrolitos Débiles* 18
2.5.5.2. *Electrolitos Fuertes* 19
2.5.5.3. *Baños alcalinos no cianurados* 19
2.5.6. ***Tropicalizado*** 20
2.5.7. ***Ánodo*** 20
2.5.7.1. *Zinc como ánodo de sacrificio* 20
2.5.8. ***Cátodo*** 21
2.5.9. ***Cubas electrolíticas*** 22
2.6. **Tipos de electrodeposición (galvanizado y tropicalizado)** 22
2.6.1. ***Galvanizado en Rack Plating*** 23
2.6.2. ***Galvanizado en Barrel Plating*** 23
2.7. **Temperatura** 23
2.8. **Agentes de añadidura** 24
2.8.1. ***Nivelantes*** 24
2.8.2. ***Agentes disminuidores de tensión*** 24
2.8.3. ***Abrillantadores*** 24
2.8.4. ***Humectantes*** 24

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLOGICO 25
3.1. Tipo de Estudio 25
3.1.1. *Estudio Exploratorio* 25
3.1.2. *Estudio Experimental* 25
3.2. Experimentación 25
3.2.1. *Diagrama del proceso* 26
3.2.2. *Materiales utilizados* 27
3.2.3. *Diseño del prototipo* 32
3.2.3.1. *Decapado Acido* 32
3.2.3.2. *Enjuague del decapado* 33
3.2.3.3. *Desengrase* 34
3.2.3.4. *Enjuague del desengrase* 34
3.2.3.5. *Galvanizado electrolítico* 34
3.2.3.6. *Baño del electrogalvanizado* 35
3.2.3.7. *Tropicalizado* 36
3.2.3.8. *Enjuague del Tropicalizado* 37

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION 38
4.1. Ley de Faraday 38
4.2. Rendimiento del cátodo 38
4.3. Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento 39
4.4. Tiempo del baño electroquímico 40
4.5. Espesor del recubrimiento 43
4.6. Análisis de las curvas del peso en función del tiempo del recubrimiento 44
4.6.1. *Electro galvanizado* 44
4.6.1.1. *Perno pequeño* 45
4.6.1.2. *Perno grande* 46
4.6.1.3. *Tuerca* 47
4.6.2. *Tropicalizado* 48
4.6.2.1. *Perno pequeño* 49
4.6.2.2. *Perno Grande* 50
4.6.2.3. *Tuerca* 51

4.7. **Control de calidad según las normas NTE INEN 1189:2013** 53
4.8. **Diseño del proceso** 55
4.8.1. ***Instalación galvánica*** 55
4.8.1.1. *Suelo del taller* 56
4.8.2. ***Equipos y su justificación*** 57
4.8.2.1. *Rectificador* 57
4.8.2.2. *Cubas electrolíticas* 57
4.8.2.3. *Agitación* 57
4.8.2.4. *Filtrado* 58
4.8.3. ***Cálculos del diseño*** 59
4.8.3.1. *Selección del rectificador* 59
4.8.4. ***Dimensiones del Barril*** 60
4.8.5. ***Dimensiones de la cuba electrolítica*** 62
4.8.5.1. *Volumen* 63
4.8.5.2. *Anchura* 63
4.8.5.3. *Longitud* 64
4.8.5.4. *Altura* 64
4.8.5.5. *Espesor* 64
4.8.6. ***Concentraciones de la solución electrolítica*** 64
4.8.7. ***Concentraciones de baño*** 65
4.8.8. ***Densidad del electrolito*** 67
4.8.9. ***Tubo base*** 69
4.8.10. ***Diagrama del diseño*** 70
4.8.10.1. *Diagrama de las cubas* 70
4.8.11. *Diagrama de tanques para galvanizado* 71
4.8.12. *Diagrama del proceso* 72

CONCLUSIONES 74
RECOMENDACIONES 75
BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Parámetros para el baño no cianurado 19
Tabla 1-4: Pesos vs Tiempo de las piezas galvanizadas 44
Tabla 2-4: Variables del proceso del electrogalvanizado 45
Tabla 3-4: Variación del peso respecto al tiempo del perno pequeño 45
Tabla 4-4: Variación del peso respecto al tiempo del perno grande 46
Tabla 5-4: Variación del peso respecto al tiempo del perno grande 47
Tabla 6-4: Variables del proceso del tropicalizado 49
Tabla 7-4: Peso adquirido del perno pequeño durante el tropicalizado 49
Tabla 8-4: Peso adquirido del perno grande durante el tropicalizado 50
Tabla 9-4: Peso adquirido de la tuerca durante el tropicalizado 51
Tabla 10-4: Resultados de la evaluación de control de calidad 54
Tabla 11-4: Parámetros de limpieza según el baño 58
Tabla 12-4: Características del rectificador 60
Tabla 13-4: Características mecánicas del PVC 60
Tabla 14-4: Concentraciones de las sustancias en el electrolito 65
Tabla 15-4: Costos de Infraestructura 73
Tabla 16-4: Costos de sustancias 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Corrosión en una aleación 5
Figura 2-2. Representación de la corrosión por reacción electroquímica 6
Figura 3-2. Serie galvánica de materiales metálicos en orden descendente 7
Figura 4-2. Metales base y recubrimientos metálicos 8
Figura 5-2. Corrosión química en un metal 8
Figura 6-2. Corrosión galvánica en pernos y tornillos 9
Figura 7-2. Corrosión electroquímica en un barco 9
Figura 8-2. Corrosión heterogénea 10
Figura 9-2. Corrosión en una fisura sobre una superficie metálica 11
Figura 10-2. Corrosión por erosión en una tubería 11
Figura 11-2. Corrosión por pitting. 12
Figura 12-2. Corrosión por microorganismos 12
Figura 13-2. Corrosión por erosión en aluminio 13
Figura 14-2. Corrosión selectiva (Descincificación) 13
Figura 15-2. Corrosión intergranular 14
Figura 16-2. Grietas en oxidación 14
Figura 17-2. Tubo donde se produjo fractura y fuerte corrosión en superficie interna y externa 15
Figura 18-2. Ánodo de sacrificio de zinc 20
Figura 19-2. Ánodo de sacrificio de zinc. 21
Figura 20-2. Ánodo de sacrificio de zinc 21
Figura 21-2. Cubas electrolíticas anticorrosivas de PVC 22
Figura 22-2. Bastidor o Rack 23
Figura 23-2. Diagrama de un tambor sumergido 23
Figura 1-3. Flujo del proceso de la planta de galvanizado y tropicalizado. 26
Figura 2-3. Equipo de protección usado 27
Figura 3-3. Recipiente escogido para el prototipo 28
Figura 4-3. Recipientes de vidrio escogido para el prototipo 28
Figura 5-3. Pipeta volumétrica 29
Figura 6-3. Adaptador de laptop 29
Figura 7-3. Amperímetro 30
Figura 8-3. Cables: rojo (cátodo) y negro (ánodo) 30
Figura 9-3. Zinc 31

Figura 10-3. Pernos y tornillos a recubrir 31
Figura 11-3. Diseño del prototipo 32
Figura 12-3. Decapado acido de las piezas 33
Figura 13-3. Enjuague del decapado 33
Figura 14-3. Galvanizado electrolítico 35
Figura 15-3. Enjuague de Galvanizado 36
Figura 16-3. Procedimiento del tropicalizado 37
Figura 1-4. Dimensiones del perno pequeño, vista planta superior 41
Figura 2-4. Dimensiones del perno pequeño, vista alzado 41
Figura 3-4. Comparación antes vs después del galvanizado 48
Figura 4-4. Elementos escogidos galvanizados 48
Figura 5-4. Elementos escogidos Tropicalizados 52
Figura 6-4. Procedimiento del control de calidad: Pieza galvanizada vs pieza no galvanizada 53
Figura 7-4. Resultados del control de calidad: Pieza galvanizada vs pieza no galvanizada . 54
Figura 8-4. Distribución de la instalación 56
Figura 9-4. Filtro de cartuchos 58
Figura 10-4. Rectificador NICE POWER WP-SPPS-S3010-White 59
Figura 11-4. Barril de PVC para el baño electrolítico 62
Figura 12-4. Dimensiones de las cubas, vista alzado frontal 70
Figura 13-4. Dimensiones de las cubas, vista perfil izquierdo 70
Figura 14-4. Dimensiones de la cuba electrolítica, vista alzada 71
Figura 15-4. Dimensiones de la cuba electrolítica, vista superior 71
Figura 16-4. Diseño del proceso 72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Diagrama de Pourbaix del Zinc 16
Gráfico 2-2. Diagrama de Pourbaix del $Zn(II)/Cl-/H2O$ 17
Gráfico 1-4. Peso adherido vs Tiempo del perno pequeño, galvanizado 45
Gráfico 2-4. Peso adherido vs Tiempo del perno grande, galvanizado 46
Gráfico 3-4. Peso adherido vs Tiempo de la tuerca, galvanizado 47
Gráfico 4-4. # de Inmersiones vs Peso final del perno pequeño, tropicalizado 50
Gráfico 5-4. # de Inmersiones vs Peso final del perno grande, tropicalizado 51
Gráfico 6-4. # de Inmersiones vs Peso final de la tuerca, tropicalizado 52

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. CONSTANTES ELECTROQUÍMICAS DE LOS METALES
ANEXO B. PREPARACIÓN DEL PROTOTIPO DE ELECTROGALVANIZADO
ANEXO C. PREPARACIÓN DEL ELECTROLITO
ANEXO D. DECAPADO Y ENJUAGUE ÁCIDO
ANEXO E. RESULTADO DEL GALVANIZADO EN LAS PIEZAS DE INTERES
ANEXO F. RESULTADO DEL TROPICALIZADO

RESUMEN

La finalidad de este Trabajo de Integración Curricular fue diseñar un proceso de galvanizado para accesorios electromotrices, tales como: tuercas, tornillos, pernos, etc. Se construyó una réplica del proceso dentro de laboratorio a pequeña escala para obtener datos que influyan en el diseño final del mismo. Para lograr esto se utilizaron pernos de diferentes tamaños 10 y 2 centímetros y una tuerca. Con esto se determinó las condiciones aptas para que se pueda dar correctamente el galvanizado, obteniéndose valores, un pH de 14 pH, temperaturas optimas de entre 18 y 22 C, y concentraciones de 0,1441m3 para el agua, 38,90 kg NaOH, y 5,187 kg ZnCl2, para un volumen de 0,4323m3 correspondiente al diseño del proceso. Para el baño se escogió como electrolito una solución alcalina no cianurado y para finalizar se lo recubrió con un baño de tropicalizado con objetivo de reforzar y mejorar la apariencia final del producto. Para el diseño final del proceso se escogió el galvanizado en Barrel Plating debido al tamaño de los accesorios que se buscan recubrir y en base al dimensionamiento del barril se realizó los respectivos cálculos para obtener las dimensiones de 1,17m para el ancho, 1,125m para el largo y 0,80m para el alto de este. Obtenido el producto final se realizó el control de calidad que establecen las normas NTE INEN 951:2013 RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS. REQUISITOS GENERALES, ESPESORES Y ABREVIATURAS y NTE INEN 1189:2013 (RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ENSAYO DE TROPICALIZACIÓN), a su vez se recomendó el estar pendiente de las impurezas ya que el nivel de pureza de las sustancias utilizadas es importante y repercute en el resultado final.

Palabras clave: <RECUBRIMIENTOS METÁLICOS>, <ELECTROLISIS>, <GALVANIZADO>, <DECAPADO>, <ÁNODO DE SACRIFICIO>, <BARREL PLATING>, <TROPIZALIZAR>, <ELECTROLITOS>.

Firmado electrónicamente por:
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
DBRA
ESPOCH
1198-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The purpose of this Curricular Integration Project consisted of designing a galvanizing process for electromotive accessories, such as: nuts, screws, bolts, etc. A small-scale laboratory replica of the process was built to obtain data that will determine the final design of the process. To achieve this, bolts of different sizes 10 and 2 centimeters and a nut were used. With this, the conditions suitable for the galvanizing process were determined, obtaining values of a 14 pH, optimum temperatures of between 18 and 22 C, and concentrations of 0.1441m3 for the water, 38.90 kg NaOH, and 5.187 kg ZnCl2, for a volume of 0.4323m3 corresponding to the design of the process. For the bath, a non-cyanide alkaline solution was chosen as electrolyte and finally it was electroplated in order to reinforce and improve the final appearance of the product. For the final design of the process, Barrel Plating was chosen due to the size of the accessories to be coated and based on the dimensioning of the barrel; the respective calculations were made to obtain the dimensions of 1.17m for the width, 1.125m for the length and 0.80m for the height of the barrel. Once the final product was obtained, the quality control according to the NTE INEN 951:2013 ELECTROLYTIC COATINGS GENERAL REQUIREMENTS, THICKNESSES AND ABBREVIATIONS and NTE INEN 1189:2013 (METALLIC COATINGS. DETERMINATION OF CORROSION RESISTANCE. TROPICALISATION TEST), standards were carried out. In turn it was recommended to be aware of the impurities as the level of purity of the substances used is important and affects the final result.

Keywords: <METALLIC COATINGS>, <ELECTROLISIS> <GALVANIZING<, <DECAPING>, <SACRIFICIAL ANODE>, <BARREL PLATING>, <ELECTRO-PLATING>, <ELECTROLYTES>.

ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA

Firmado digitalmente por ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.06.27 23:13:42 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Los metales en la actualidad desempeñan un papel fundamental en varias áreas de la sociedad tal como la conocemos, áreas como la arquitectura, medicina, construcción, etc. Motivo el cual radica la importancia de desarrollar estrategias que aumenten la vida útil de estos metales para sacar el máximo partido de estos.

Siendo este el motivo principal de la propuesta de este trabajo de titulación, que busca reducir el impacto de este fenómeno natural para ayudar en la optimización de procesos de las empresas que buscan sacar el máximo partido a sus maquinarias.

En el Ecuador se tienen variedades de climas que hace posible la extensión de la corrosiónen cualquier pieza eléctrica en el automotor, estos materiales juegan un papel fundamentalen el correcto funcionamiento de este ya que funcionan como puentes de conexión entrela batería del carro y las partes que requieren electricidad.

El extender la vida de estas significaría un gran ahorro a las familias ecuatorianas ya que el número de cambio de estos accesorios se verían reducidos. Es de vital importancia establecer técnicas de protección de metales para obtener materiales de mayor duración y con alta resistencia frente a la corrosión. Con la realización de este proyecto también se lograría la generaciónde empleos que beneficiaran a la población, traduciéndose esto en una mayor dinamización económica.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

En el Ecuador el parque automotor que se ha matriculado ha crecido más de 1,4 millones de vehículos en lo que va del año 2010 al 2019, según el INEC, lo que significa un gran incremento en el uso de piezas metálicas que sirven como sistema eléctrico para el correcto funcionamiento de estos automotores, siendo usado en varios ámbitos que van desde el transporte, hasta la agricultura y pesca. El Ecuador presenta gran variedad de climas y por ende se encuentran temperaturas y ambientes propicios para la corrosión, siendo este un gran problema en la conservación de estas piezas metálicas y por ende en el rendimiento de estas (Molera, 2020, p.8).

La corrosión es un problema que afecta a los metales debido a condiciones climatológicas/ambientales determinadas, esto por las reacciones electroquímicas y químicas ya que los metales tratan de llegar a un menor nivel de potencial energético, produciéndose así la corrosión, el cual está formado por un estado energético de menor energía, para lograr equilibrar su estado termodinámico (Javaherdashti, 2008, p.57).

Los problemas que lo causan son variados, ya que, al ser los metales uno de los materiales más usados en diversos campos, atentan contra la seguridad de las personas y la economía misma. En el campo automotriz, existen diversos accesorios eléctricos metálicos que gracias a su conductividad eléctrica sirven para el funcionamiento del automotor, como en el motor del carro, el cual requiere de energía proveniente de la batería, misma que está conectado con los terminales, compuesto principalmente por bronce y las piezas que lo conforman requieren de protección contra la corrosión para mayor funcionalidad en el mismo, por lo que es de vital importancia la constante investigación de nuevos métodos para controlar este fenómeno natural para así alargar la vida de los accesorios.

La realización de este proyecto supone una aportación al control de esta problemática como es la corrosión, que la humanidad ha combatido desde el descubrimiento y uso metálico.

1.2. Justificación del proyecto

Las pérdidas materiales ocasionadas por la corrosión en los metales, se calcula que alcanza un 3,5% del PIB en Gran Bretaña (Hou et al., 2017), si se pone en comparación con Ecuador, el cual tiene años de retraso tecnológico con respecto a Gran Bretaña, no es de sorprenderse la cantidad de las pérdidas económicas que puede llegar a causar en el Ecuador.

Para lograr la protección contra la corrosión se debe establecer los tipos de ambientes en los que se encuentran estas piezas eléctricas en el automotor, siendo estos ambientes industriales y entornos con calefacción, ambientes característicos de la carrocería del automotor, por lo cual se procede a seleccionar un recubrimiento electrolítico, proceso el cual consiste en la adición de finas capas de metales sobre los accesorios de interés, para ello se buscara tropicalizar las piezas como las platinas, pernos, tuercas, tornillos, etc. Esto no solo con el objetivo de protegerlo de la corrosión, sino también de dar mejor imagen, que con el tropicalizado se puede lograr gracias a la gama de colores atractivos que presentan. Para ello pasan por una serie de procesos los cuales son de vital importancia para el resultado final. Para lograr este proceso se requerirá de sustancias químicas tales como: ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido sulfúrico, agua, desengrasante, zinc alcalino, cromatizado y tropical irisado.

En el Ecuador se tienen variedades de climas que hace posible la extensión de la corrosión en cualquier pieza eléctrica en el automotor, estos materiales juegan un papel fundamental en el correcto funcionamiento de este ya que funcionan como puentes de conexión entre la batería del carro y las partes que requieren electricidad. El extender la vida de estas significaría un gran ahorro a las familias ecuatorianas ya que el número de cambio de estos accesorios se verían reducidos. Es de vital importancia establecer técnicas de protección de metales para obtener materiales de mayor duración y con alta resistencia frente a la corrosión. Con la realización de este proyecto también se lograría la generación de empleos que beneficiaran a la población, traduciéndose esto en una mayor dinamización económica.

1.3. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1. Beneficiarios Directos

El propósito principal de la realización de este proyecto es beneficiar a las personas emprendedoras del país, para que puedan incursionar en este tipo de proyectos y aporten a la disminución de los egresos debido al constante reemplazos de los accesorios, favoreciendo enormemente a la economía de las personas que juegan un papel fundamental en la economía del país.

1.3.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos es la economía misma del país, ya que en base al ahorro producido hacia las personas que trabajan, disminuyendo los gastos producidos por cambio de accesorios metálicos que se han corroído para que sus maquinarias operen de manera correcta.

1.4. Localización del proyecto

Este proyecto de Integración Curricular se realizó en realizarse en La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para aportar al detenimiento a la corrosión producida por el ambiente tropical el cual es propicio para la corrosión en los metales.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Diseñar un proceso de galvanizado para piezas eléctricas automotrices (pernos, platinas, tornillos, terminales de batería, soportes de batería) con producción a mediana escala.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Definir el método idóneo para el proceso de galvanizado y tropicalizado.
- Determinar las variables óptimas para el diseño del proceso de galvanizado mediante ensayos a escala de laboratorio.
- Determinar las variables óptimas para el diseño del proceso de tropicalizado.
- Realizar los cálculos necesarios para el dimensionamiento del proceso de galvanizado y tropicalizado.
- Efectuar un control de calidad frente a la corrosión de las piezas del automóvil tratadas.
- Diseñar la planta de galvanizado y tropicalizado a mediana escala en base a las variables de proceso obtenidas.
- Validar el cumplimiento de calidad para galvanizado y tropicalizado en base a lasnormas NTE INEN 951:2013 RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS. REQUISITOS GENERALES, ESPESORES Y ABREVIATURAS y NTE INEN 1189:2013 (RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ENSAYO DE TROPICALIZACIÓN) respectivamente.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Corrosión

Según Kim et al. (2002, p.75), la corrosión se puede llegar por dos formas, teniendo en primer escenario a la corrosión por ataque químico directo, como sucede en la oxidación y desgaste de metales por acción de sustancias químicas en estado gaseoso. La segunda forma se da mediante una reacción electroquímica, las cuales tienen en su ambiente la presencia de variables tales como la humedad y electrolitos. Se debe tener en cuenta que el termino corrosión electroquímica como tal se utiliza solo cuando la corriente pasa a través de las paredes del metal sin que estas paredes se corroan por efecto de la misma.

La corrosión directa, se da cuando se tienen las reacciones de tipo oxidación, y a pesar de que existan variedad en su comportamiento, estas se producen por la reacción que existe únicamente con el oxígeno en ausencia parcial o total de la humedad, por lo que puede existir una corrosión uniforme, como también existir la corrosión de un único elemento y producir la denominada corrosión intergranular.

Figura 1-2. Corrosión en una aleación

Fuente: (labcyp, 2020).

2.2. Causa de la corrosión

La corrosión como tal es un fenómeno que es causado por una reacción electroquímica, en la cual el metal reacciona con el ambiente para formar anhídridos (Óxidos) u otros compuestos.

Para que este proceso ocurra se requiere de 3 elementos, las cuales son:

- Ánodo
- Cátodo
- Electrolito

Siendo el ánodo donde generalmente ocurre la corrosión o la oxidación como tal, en otras palabras, el objeto que se busca recubrir y evitar que se oxide. El cátodo, o la parte del material que actuará como el polo positivo en la reacción electroquímica para completar el circuito puede ser de la misma superficie del metal, aleación, o soldadura (dos metales diferentes unidos mediante una varilla de electrodo), por lo cual esta no será consumida en esta reacción. El ánodo dona el ión metálico al electrolito en formas de iones cargados positivamente, debido a esto el metal comenzara a corroerse en el proceso (León y Puebla, 2006, p.32).

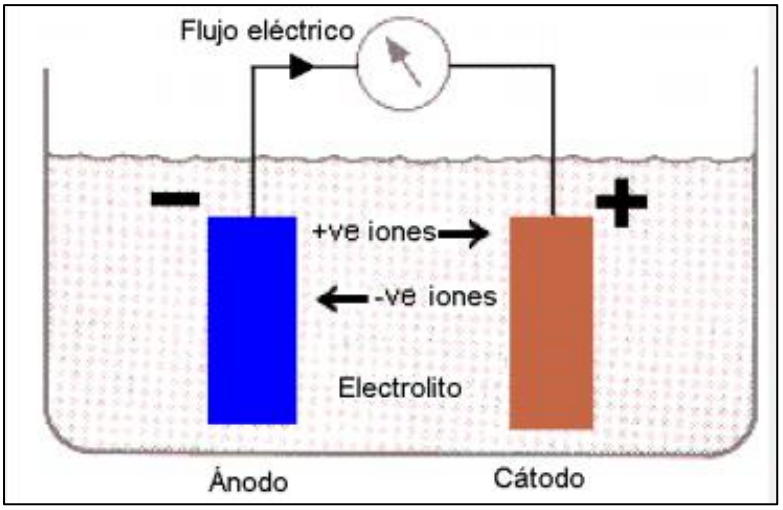


Figura 2-2. Representación de la corrosión por reacción electroquímica

Fuente: (León y Puebla, 2006).

Según ECCA (2011, p.28), estas reacciones se dan al mismo tiempo, las cuales son:

- **Reacción que se da en el ánodo:**

$$M^o \rightarrow M^n + ne^- \qquad Oxidación$$

- **Reacción que se da en el cátodo:**

$$M^- + ne^- \rightarrow M^0 \qquad Reducción$$

Como se observa en las reacciones la ganancia de electrones se queda el cátodo, lo que en las reacciones tipo REDOX se lo denomina reducción. La función del ánodo es la de donar sus electrones, misma que se conoce como oxidación, transformando su estado metálico neutro a

cationes dispersos en el electrolito, para finalmente, como se ha mencionado antes, corroerse.
Lo que determina la resistencia o durabilidad de los metales ante estas condiciones y por ende a la corrosión es el potencial electroquímico, en el cual los valores positivos muestran mayor durabilidad a estas condiciones, y, por ende, los valores negativos, los más propensos a la corrosión.

2.3. Potencial electroquímico

El potencial electroquímico son valores que describen la resistencia de un material ante la corrosión, estos valores tienden a variar dependiendo del electrolito en el que están inmersos. La tendencia de este valor hacia valores positivos determinara la resistividad del mismo hacia la corrosión, estos son considerados como materiales nobles, por el contrario, si los valores de este potencial tienden a ser negativos, serán mucho más reactivos a la corrosión. La agrupación de los valores de los potenciales metálicos en tablas son conocidas como serie galvánica, en donde se ordenan los metales según su valor de potencial (de valores positivos a negativos, es decir, descendente) (Salazar, 2015, p.62).

Figura 3-2. Serie galvánica de materiales metálicos en orden descendente

Fuente: (ECCA, 2011).

Metal base		Recubrimientos metálicos	
Fe	Hierro o acero	Zn	Zinc
Zn	Zinc	Cd	Cadmio
Cu	Cobre	Ni	Níquel
Al	Aluminio	Cu	Cobre
PL	Material plástico	Cr	Cromo
		Sn	Estaño
		Pb	Plomo
		Ag	Plata
		Au	Oro

Figura 4-2. Metales base y recubrimientos metálicos

Fuente: (Abreviaturas, 2013).

2.4. Tipos de corrosión

Según León y Puebla. (2006, p.38), existen diversos tipos de corrosión que no deben ser globalizados como un mismo fenómeno en sí, estos se clasifican para una mayor comprensión sobre el mismo, y estas se dan según su forma, el ambiente en el que se forma, etc. La clasificación de la corrosión es:

2.4.1. De acuerdo al ambiente en el que se desarrolla

2.4.1.1. Corrosión química

Este tipo de corrosión es la que es producida bajo ciertas condiciones específicas, en las cuales el metal empieza a reaccionar con un ambiente no iónico, siendo estas producidas por sustancias químicas que produzcan las condiciones necesarias para que se dé la corrosión, estas pueden darse, por ejemplo: la oxidación que se da por la exposición al aire en altas temperaturas, o la reacción que se da en tetracloruro de carbono y yodo (León y Puebla, 2006, p.39).

Figura 5-2. Corrosión química en un metal

Fuente: (Perez, 2015).

2.4.1.2. Corrosión galvánica

Esta se define como una corrosión la cual es acelerada debido a la unión eléctrica de distintos materiales en la presencia de un electrolito. Estas son uniformes o localizados entre las uniones existentes en las aleaciones, tomando en cuenta las condiciones en las que se encuentran. Este tipo de corrosión puede ser sumamente fuerte cuando las películas protectoras de corrosión son destruidas por la erosión. Es decir, este tipo de corrosión es formada cuando dos metales distintos están expuestos al mismo ambiente, en donde el metal menos noble o resistente a la corrosión.

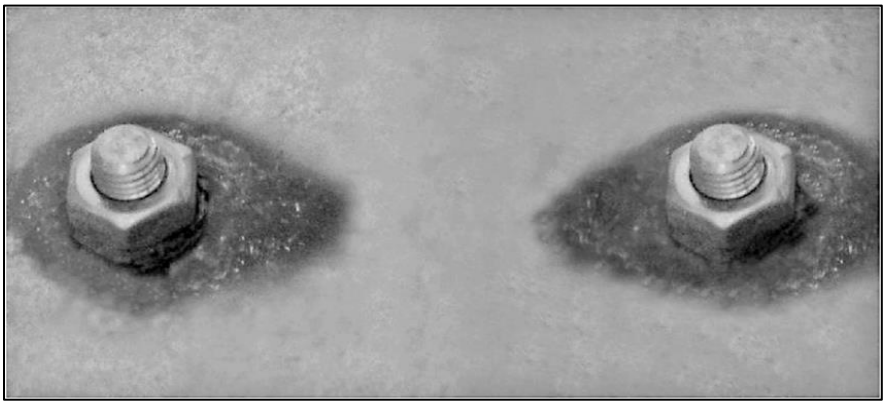


Figura 6-2. Corrosión galvánica en pernos y tornillos

Fuente: (Salazar, 2015).

2.4.1.3. Corrosión electroquímica

Este tipo de corrosión se refiere a la presencia de un electrolito, en donde se puede encontrar el transporte de electricidad simultaneo mediante el mismo, como ejemplo se tienen al tipo de corrosión que experimentan los suelos, los barcos debido a la presencia del agua de mar, la corrosión atmosférica, etc. Específicamente a los que tengan un medio de tránsito para la electricidad (León y Puebla, 2006, p.41).

Figura 7-2. Corrosión electroquímica en un barco

Fuente: (Peiró, 2015).

2.4.2. De acuerdo a su morfología

2.4.2.1. Corrosión heterogénea

Este tipo de corrosión es donde las zonas afectadas van por la superficie del metal de manera no uniforme, lo cual quiere decir que cada tramo tiene velocidades diferentes por sobre la superficie, Generalmente se dan en corrosión de tipo electroquímico y químico.

Con respecto a los ataques en zonas específicas, la cantidad del metal comprometido no guarda relación alguna con los problemas que causaran a futuro, sin embargo, se debe de tener cuidado al presentar este tipo de corrosión por más pequeña que sea (ver figura 8-2).

Este tipo de corrosión presenta diferentes tipos, los cuales son:

- Bajo tensión
- Intergranular
- Rendijas
- Por picado

Entre otras.

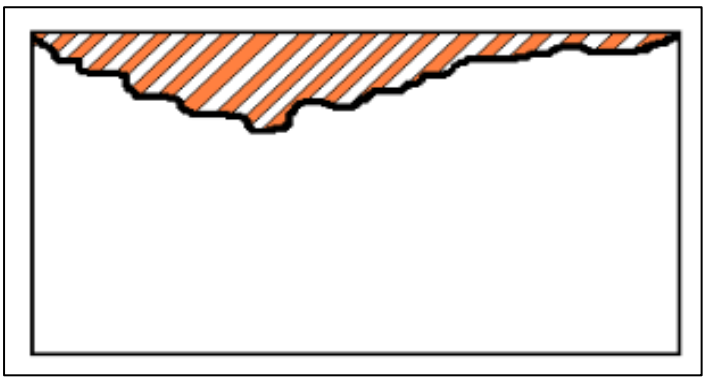


Figura 8-2. Corrosión heterogénea

Fuente: (León y Puebla, 2006)**.**

2.4.3. De acuerdo a su mecanismo

2.4.3.1. Corrosión por fisuras

Similar a la corrosión galvánica, este tipo de corrosión se presenta en zonas donde la existencia del oxígeno es poca en comparación a otras zonas de la superficie metálica, lo cual produce que las partes de la superficie del metal con poca cantidad de oxígeno se comporten como ánodos, completando el circuito y dando paso a la corrosión en estas fisuras (Salazar, 2015, p.67).

Figura 9-2. Corrosión en una fisura sobre una superficie metálica

Fuente: («Stress Corrosion Cracking (1/4)», 2012).

2.4.3.2. Corrosión por erosión

De acuerdo a León y Puebla (2006, 42), menciona que este tipo de corrosión es aumentada la velocidad por el movimiento entre el medio ambiente y la superficie del metal. Estas se muestran con formas de marcas causadas por la fricción del movimiento sobre la superficie metálica.

La corrosión por erosión es típica sobre aleaciones metálicas blandas o débiles, siendo un claro ejemplo las aleaciones de plomo, cobre y aluminio.

Este tipo de aleaciones blandas forman una capa de pasividad que muestra un límite de velocidad, misma que por encima de ella la erosión se acelera, comprometiendo severamente la superficie metálica. Existen también otros factores que aumentan las consecuencias del fenómeno, los cuales son:

- Cavitación
- Turbulencia
- Efectos Galvánicos

Figura 10-2. Corrosión por erosión en una tubería

Fuente: (Anna, 2017).

2.4.3.3. Corrosión por picaduras o pitting

Según Salazar (2015, p.69), en su artículo explica que este tipo de corrosión se da en metales que han sido pasivados a causa de la morfología del sistema, las cuales permiten la acumulación de agentes oxidantes y un aumento del PH del medio en el que se encuentra, lo que hace que aumente la corrosión en zonas específicas.

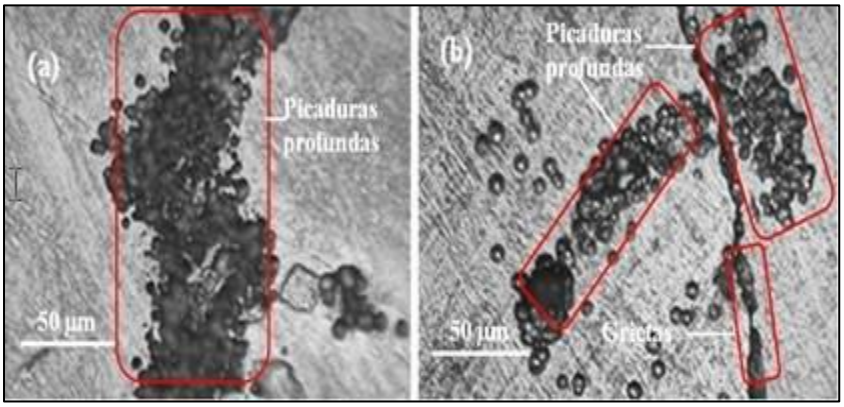


Figura 11-2. Corrosión por pitting

Fuente: (Reyes et al., 2019).

2.4.3.4. Corrosión por microorganismos (microbiológico)

Este es un tipo de corrosión que se da, como su nombre lo indica, por microorganismos, dado que estos facilitan la corrosión debido a sus procesos naturales- El porqué de la corrosión radica en la forma que tienen de crecer los microorganismos, estos se agrupan y empiezan a alimentarse por osmosis, produciendo así, variaciones en las concentraciones de sales y oxígeno, dando paso a la corrosión, siendo el más común el proceso del pitting (Salazar, 2015, p.71).

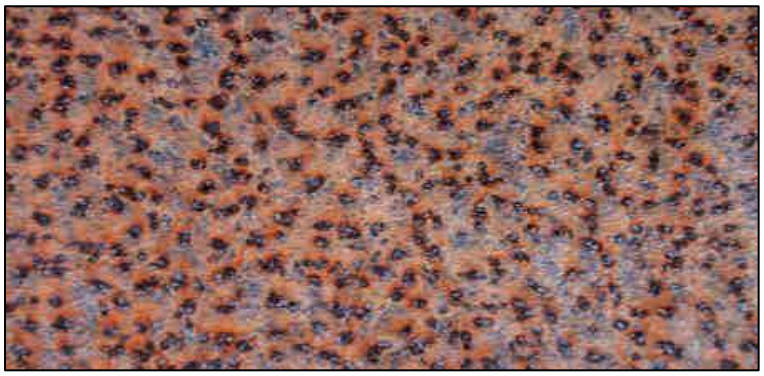


Figura 12-2. Corrosión por microorganismos

Fuente: (Harkin, 2018).

2.4.3.5. Corrosión por exfoliación

Es un tipo de corrosión el cual se da en uniones de dos metales, se la reconoce por el espacio que proporciona los productos de la corrosión, separando así al metal, por lo que se considera a esta una corrosión en la que empieza sobre una superficie limpia y, debido a la expansión de la corrosión, se esparce produciendo así una apariencia escamosa que se da sobre la superficie de esta (León y Puebla, 2006, p.44).

Figura 13-2. Corrosión por erosión en aluminio

Fuente:(Li Shuai et al., 2017)**.**

2.4.3.6. Corrosión selectiva

También llamado lixiviación, este proceso se da cuando en una aleación, uno de los metales que lo componen se encuentran en mayor actividad, dando paso a un proceso llamado descincificación, siendo un claro ejemplo cuando se produce en el zinc en la aleación del latón. Esta se produce en soluciones que contienen dióxido de carbono y cloruros (GÓMEZ et al., 2014, p.29).

Figura 14-2. Corrosión selectiva (Descincificación)

Fuente: (GÓMEZ et al, 2014)**.**

2.4.3.7. Corrosión intergranular

Se le denomina así a la corrosión en las que se corroe por decisión a los límites de grano de algunas aleaciones y metales en general. Estos límites de grano son zonas del material con alta energía, los cuales pueden producir un diferencial de energía, lo que provocaría la corrosión sobre el material.

Estas se pueden identificar por la formación en diagonal con la que se esparcen, debido a que su propagación se da sobre los límites de grano (León y Puebla, 2006, p.45).

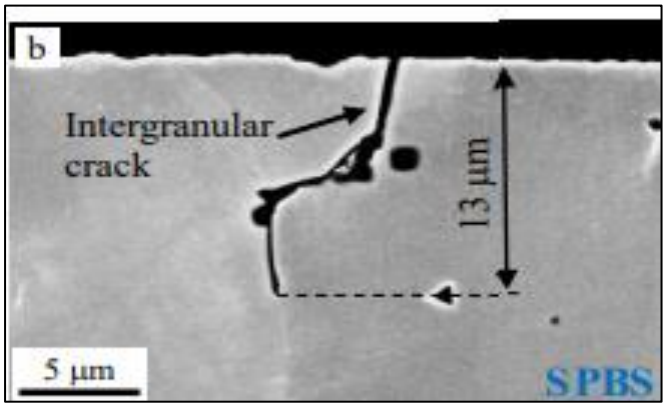


Figura 15-2. Corrosión intergranular

Fuente: (Han et al., 2017).

2.4.3.8. Corrosión por tensión

Este tipo de corrosión se da cuando, debido a la tensión por la que es sometido un metal ya sea de manera externa o interna, debido a la fricción se forman pequeños rasguños, que empiezan a corroerse con el tiempo (Salazar, 2015, p.72).

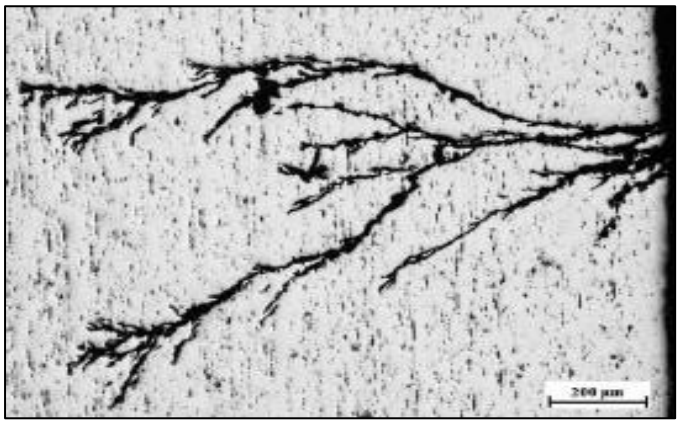


Figura 16-2. Grietas en oxidación

Fuente: (López, 2016).

2.4.3.9. Corrosión por fatiga

Al igual que con la corrosión por tensión, la corrosión por fatiga es el proceso de oxidación del metal, cuando este se encuentra sujeto a esfuerzos, con la diferencia de que estos son de manera repetitiva o continua, dando paso a la corrosión por las fisuras formadas sobre la superficie del metal (Salazar, 2015, p.72).

Figura 17-2. Tubo donde se produjo fractura y fuerte corrosión en superficie interna y externa

Fuente: (Bilmes y Manuel, 2012).

2.5. Fundamentos primordiales sobre electroquímica

2.5.1. Generalidades

Los procesos de corrosión son más a menudo debido a procesos electroquímicos por medios acuosos, estos son parecidos a los que ocurren en una celda compuesta por un electrodo de carbón central y un electrodo de copa de zinc y separado por un electrolito, mientras se está dando la reacción electroquímica en ambos electrodos, el electrodo de carbón se convierte en el polo positivo en donde ocurrirá una reacción de reducción y el electrodo de zinc en el polo negativo en el que ocurrirá la reacción de oxidación, cerrando el circuito y dando como resultado la corrosión del electrodo de zinc (Analogy y Law, 2015, p.9).

La corrosión como tal se da en la industria y produce grandes impactos en el mundo automotriz, siendo el principal responsable el agua. Independiente mente de su cantidad, esta será indispensable para que se produzca la corrosión, para que el circuito este completo es necesario de infundir energía, como ocurre en el proceso electroquímico.

La energía para que se produzca este proceso es obtenida de la energía que es almacenada durante el proceso de refinamiento, y la cantidad de esta varía según el metal debido a ello se tiene diferentes tendencias a corroerse (León y Puebla, 2006, pp.135-136).

Para el desarrollo del recubrimiento electrolítico, se usará un baño electrolítico de cinc en medio alcalino no cianurado, las cuales se obtendrán sales de Zn2+, Na+, Cl- y OH.

2.5.2. Diagramas de Pourbaix

Estos diagramas son de gran utilidad en el área de la corrosión, incluyendo a campos como recubrimientos, electrolisis, electro refinado, tratamiento de aguas, etc. Estos diagramas ayudan a entender el comportamiento del metal, permitiéndonos predecir las zonas de pasivación, corrosión e inmunidad del metal de interés en un determinado medio. Si el metal se encuentra en una zona termodinámicamente estable se entiende que se encuentra en condiciones de inmunidad. Si metales anfóteros, como lo son el zinc, hierro o aluminio se corroen se sobreentiende que se encuentran en condiciones de corrosión alcalina. Por el contrario, la Pasivación se producirá si está estable un compuesto solido del mismo. Por ello los diagramas de pourbaix aparecen de forma simplificada para que se pueda determinar en qué condiciones ocurrirá la corrosión (Muñoz, 2011, p.5).

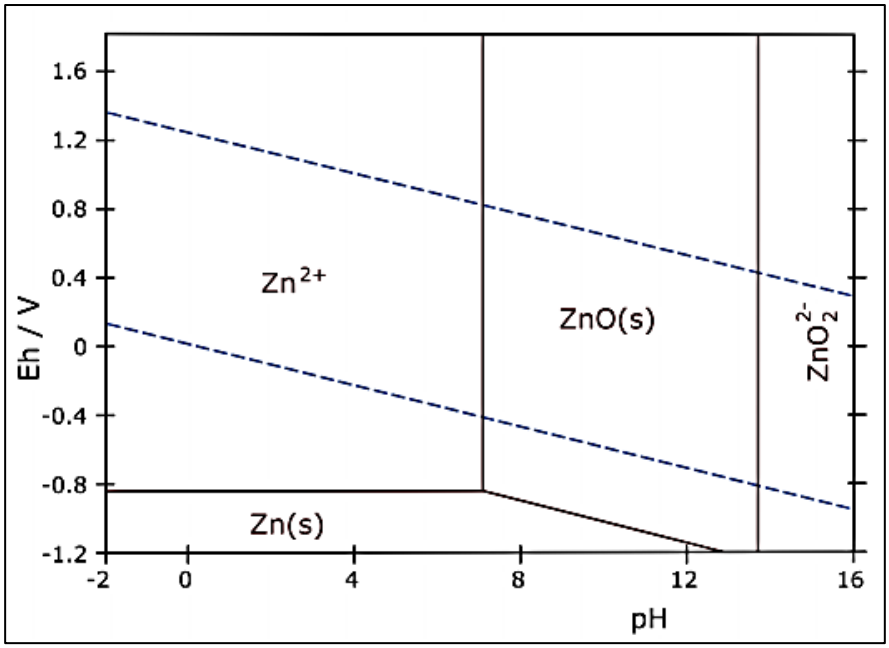


Gráfico 1-2. Diagrama de Pourbaix del Zinc

Fuente: (Perez et al., 2008).

Según VIANEY (2003, p.28), los potenciales requeridos para que se lleve a cabo la reducción de zinc en un baño electrolítico es a un pH > 13.3, siendo posible la reacción desarrollada en el baño:

$$Zn(OH)_4^{-2} + 2e \rightarrow Zn(O) + 4OH^-$$

Obteniendo la información del diagrama de pourbaix mediante la realización de zonas de predominio y existencia de predominio para entender la formación de las especies presentes en la solución cuando esta llegue al equilibrio.

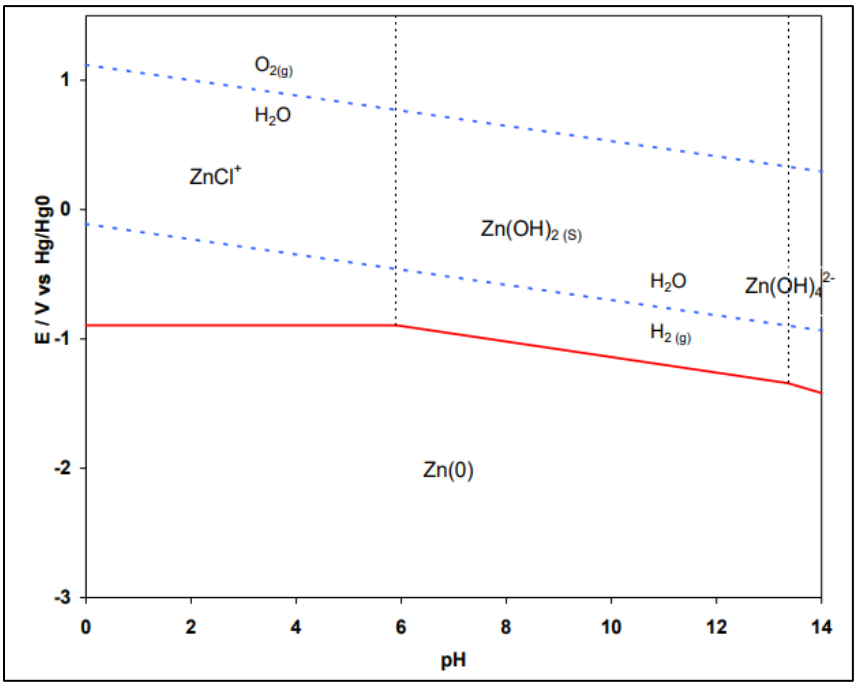


Gráfico 2-2. Diagrama de Pourbaix del $Zn(II)/Cl^{-}/H_2O$

Fuente: (VIANEY, 2003).

El grafico 2-2 muestra el diagrama de pourbaix en condiciones de $Zn(II)/\mathrm{Cl}^{-}/\mathrm{H}_2\mathrm{O}$ misma que presenta un amortiguamiento doble, las cuales son de $pCl' = 0.301\ y\ pZn' = 0.602$. La línea roja representa el equilibrio de la reacción entre Zn(0) y Zn(II), las líneas entrecortadas negras de forma vertical representan las zonas en donde predominan principalmente las especies de Zn(II), la línea celeste entrecortada superior muestra cómo se da la reacción de reducción del oxígeno, mientras que la inferior la reacción de cómo evoluciona el hidrogeno (VIANEY, 2003, p.27).

Por tanto, se entiende que los parámetros de $[OH] = 4M\ pCl' = 0.301\ y\ pZn' = 0.602$ teniendo así un potencial necesario de E' = -1.496 (VIANEY, 2003, p.29).

2.5.3. Recubrimientos metálicos

Los recubrimientos metálicos realizados mediante técnicas electrolíticas son excelentes medios para asegurar la preservación de la superficie de varios metales (Conshohocken y Terms, 2011, p. 301). De acuerdo a León y Puebla (2006, p.137), explica que mediante esta técnica se depositan delgadas capas de metal sobre otra mientras se encuentra sumergida en un electrolito. Para lograr este objetivo se utilizan sustancias químicas como sales y metales, que se los podrían denominar como puros. Para lograr un recubrimiento de calidad se debe mantener constante control sobre los electrolitos utilizados para que la pureza no resulte perjudicada y afecte a la eficiencia del proceso. Existen varios recubrimientos como:

- Cobreado

- Tropicalizado
- Niquelado
- Cromado
- Cincado

El desarrollo de este trabajo de integración curricular se centrará en el cincado, que es parte del proceso de galvanización descrita en párrafos anteriores.

2.5.4. Electrogalvanizado

Para el recubrimiento metálico en base al cinc, se tienen diversos métodos, siendo los más comunes por inmersión en caliente, y por baños electrolíticos. Por inmersión en caliente se consigue fundir el cinc a altas temperaturas para volverlo a estado líquido, y una vez hecho esto sumergir las piezas de interés hasta lograr el recubrimiento deseado. Por baños electrolíticos se necesita realizar un circuito en la que se constate la presencia de iones Zn++ disueltos en soluciones acidas o alcalinas, siendo los ácidos fuertes los que llevan los mejores resultados en cuanto a adherencia del mismo sobre la superficie del metal.

2.5.5. Baños electrolíticos

Como ya se ha mencionado antes, para que el circuito este completo, debe haber una solución conductora que una al ánodo con el cátodo, para que así pueda haber intercambio de electrones, a esta solución se la conoce como electrolito.

Según León y Puebla (2006, p.137), menciona que la combinación de estos tres elementos (electrolito, ánodo y cátodo) son conocidos como celdas de corrosión.

Se debe entender que los electrolitos son soluciones que tienen la capacidad de ionizarse, logrando ser sustancias conductoras, es decir que permiten el paso de los electrones, siendo estas soluciones acidas, básicas y sales. Teniendo su clasificación en:

2.5.5.1. Electrolitos Débiles

Estos electrolitos se empezó a desarrollar en tempranas épocas de la físico-química, cuando se tenían amplias listas de ácidos, la mayoría de ellos orgánicos, omitían la regla de Ostwald de la ley de la acción de masa $\frac{\propto^2}{(1-\propto)} = k$ a sus amplios valores de la conductividad de los ácidos, Contrario a los llamados ácidos fuertes, cuyos valores de concentración iónica, juzgando por los valores de conductividad que daban a los valores de la constante K que variaban con los de la dilución, llegando a la conclusión de que las fuerzas iónicas eran importante para determinar la

fuerza de un electrolito (Robinson et al., 1959, p.336). Como ejemplos se tiene: ácido etanoico ($CH_2 - COOH$) y el cloruro mercurioso $HgCl_2$ (León y Puebla, 2006, p.138).

2.5.5.2. Electrolitos Fuertes

Los ácidos más comunes, ácido clorhídrico, ácido nítrico, perclórico y sulfúrico tienen muchas propiedades en común con otros electrolitos sin embargo su capacidad de disociación con los iones de hidrogeno (H_3O^+) y su habilidad para actuar como solventes en sí mismos, los dotan de características diferentes que en diversas temperaturas los vuelven mejores electrolitos que el resto (Robinson et al., 2002, p.370).

Asimismo, depende mucho del material a usar para contener el electrolito, si se usara electrolitos ácidos se debe tener en cuenta que si el recipiente es metálico se debe cubrir con un material que soporte al mismo, siendo esto pinturas anticorrosivas, gomas, o cauchos para evitar la corrosión por este. Sin embargo, existen otros electrolíticos opcionales, siendo un excelente ejemplo un baño electrolítico de cinc en medio alcalino, mismo que no contienen cianuros puesto la contaminación que producen y la baja eficiencia con la que se desenvuelven. Siendo un ejemplo el Hidróxido de sodio, el cual en unión a otra sal en medio acuoso puede dar formación a especies diferentes y a los iones de Zn deseados (VIANEY, 2003, p.35).

2.5.5.3. Baños alcalinos no cianurados

Este tipo de zincado es más eficiente y con menos costos, entendiendo también que no se produce mucha contaminación al ambiente, los constituyentes necesarios para el baño alcalino no cianurado son:

Tabla 1-2: Parámetros para el baño no cianurado

Químicos y Requerimientos	**Tipo de baño**			
	Tambor		**Bastidor**	
	gr/ml	**onz/gal**	**gr/ml**	**onz/gal**
Zn (Metal)	8 - 15	1 - 2	6 - 12	0,8 – 1,6
NaOH	80 – 150	10 - 20	60 - 120	8 - 16
Temperatura de operación °C	18 – 35		18 - 35	
Densidad de corriente	0,5 – 1,2 $\frac{A}{dm^2}$ (5 – 12 asf.)		1 – 2,5 $\frac{A}{dm^2}$ (10 – 25 asf.)	

Realizado por: (Flores J, 2021).

2.5.6. Tropicalizado

Según León y Puebla (2006, p.140), exponen que para el tropicalizado se utiliza Cromatizado CI-12 el cual, según el número de inmersiones, tiempo de inmersión obtendrá la tonalidad de color deseada, misma que varía entre amarillo irisado a verde irisado dependiendo de lo que se desea obtener.

Este proceso le añadirá una capa de protección extra para el galvanizado, logrando que se vuelva mucho más resistente a condiciones aptas para la corrosión con un rango que va de 100 a 200 horas.

2.5.7. Ánodo

Es el metal el cual será sacrificado, es decir, se descompondrá en sus iones que viajaran mediante el electrolito para unirse al cátodo, o el metal al cual se busca proteger o recubrir. Durante el proceso de transición de los átomos del ánodo metálico pierden electrones pasando al electrolito como iones, debido a esta pérdida de electrones se produce un exceso de carga positiva que resulta en un ion de carga positiva para el metal de sacrificio (ánodo) (León y Puebla. 2006, p.141).

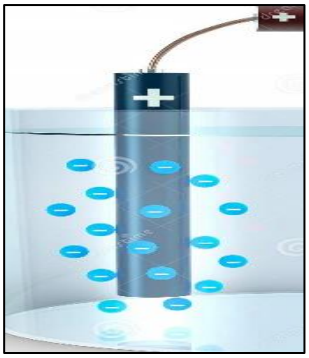


Figura 18-2. Ánodo de sacrificio de zinc

Fuente: (Emilija, 2002).

2.5.7.1. Zinc como ánodo de sacrificio

El zinc es el material apropiado para ser ánodo de sacrificio gracias a sus características tales como baja toxicidad, bajo equilibrio potencial, bajo precio y alta densidad energética. El ánodo de zinc es uno de los factores más eficientes en la capacidad de almacenamiento energético de las baterías de Zn-aire. Los problemas que el ánodo de zinc soluciona incluyen cambios morfológicos cambios debido al crecimiento de las dendritas, corrosión y pasivación debido a la evolución de la reacción con el hidrogeno.

Sin embargo, existen problemas que afectan el rendimiento del ciclo de ánodo de zinc, uno de

estos es los cambios de forma que sufre el ánodo como resultado del excesivo incremento en la densidad de las partes de la superficie de la misma comparado con otras partes, la cual reduce la electroquímica activa de su superficie, además, las formaciones de dendritas pueden acortar la vida útil de la batería. Este problema es debido a la dilución de Zn en el electrolito como resultado de la saturación de $Zn(OH)_4^{2-}$ en una solución electrolítica.

Otro problema es la pasivación de la capa en el ánodo de zinc. Esto debido a la formación de ZnO sobre la superficie del ánodo, formándose una solución alcalina durante el proceso de descarga, causando un significativo decrecimiento en la conductividad eléctrica (Ghareghashi y Mohebbi, 2006, pp.105-106).

Figura 19-2. Ánodo de sacrificio de zinc

Fuente: (MGDUFF, 2013).

2.5.8. Cátodo

De acuerdo a León y Puebla (2006, p.141), el cátodo es el metal que no se disuelve, es decir, es el lugar en donde los electrones que vienen del ánodo se depositaran y este es necesario para que un proceso de oxidación ocurra. Los electrones que se liberan desde el ánodo se trasladan hacia el cátodo, donde reaccionaran con un agente oxidante presente en el agua, produciéndose así una reacción de tipo reducción, es decir, de carga negativa.

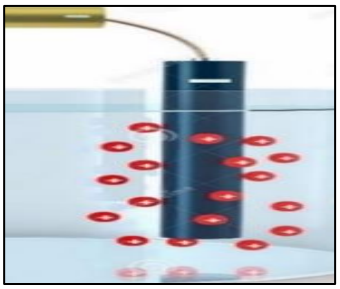


Figura 20-2. Ánodo de sacrificio de zinc

Fuente: (Emilija, 2002).

2.5.9. Cubas electrolíticas

Son recipientes que contendrán soluciones electrolíticas o galvánicas, que serán utilizados para lograr sostener el proceso de los recubrimientos metálicos a los accesorios automotrices, tales como resortes, pernos, tuercas, etc. Dependiendo del tipo de sustancia que se vaya a utilizar variara el material del que esté formado estos recipientes, estos pueden ser: Tinas de hierro con recubrimiento de esmalte, PVC, plásticos, vidrio, etc. Se debe tomar en cuenta que si el electrolito es acido, se deberá utilizar recipientes que resista esta solución. El recipiente escogido será de PVC para que resista el ácido clorhídrico en el decapado ácido y la solución electrolítica escogida (alcalino no cianurado) (León y Puebla. 2006, p.137).

Figura 21-2. Cubas electrolíticas anticorrosivas de PVC

Fuente: (Creativos, 2017).

2.6. Tipos de electrodeposición (galvanizado y tropicalizado)

Estos tipos de protección son principalmente utilizados para recubrir superficies de materiales metálicos tales como el acero o el hierro, estos tienen objetivos que van desde la parte estética hasta la función de protección contra la corrosión, estas se subdividen según su funcionamiento y capacidad de producción (ÁVILA BRITO y PAZMIÑO SALGADO, 2017b, p.30).

Por su funcionamiento:

- Plantas manuales
- Plantas semiautomáticas.
- Plantas automáticas

Según su producción:

- Tipo Rack Plating
- Tipo Barrel Plating

2.6.1. Galvanizado en Rack Plating

Son partes a recubrir que debido a su tamaño y características de fábrica no pueden ser producidos o recubiertos a gran escala, y que, para lograr producir su recubrimiento, se deben usar bastidores, también llamados "racks" (ÁVILA BRITO y PAZMIÑO SALGADO, 2017a, p.42).

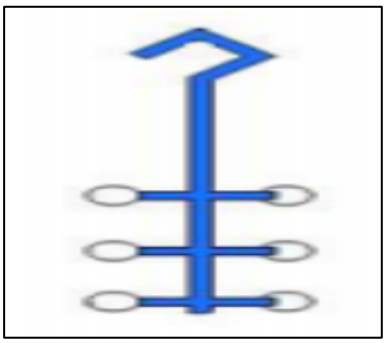


Figura 22-2. Bastidor o Rack

Fuente: (ÁVILA BRITO y PAZMIÑO SALGADO, 2017a).

2.6.2. Galvanizado en Barrel Plating

Son barriles perforados por pequeños agujeros, en este se introducen las piezas a recubrir, generalmente son de tamaño pequeño, tales como pernos, tuercas, etc. La corriente llega a estas mediante unas varillas las cuales son colocadas a lo largo del barril (Alcaraz, 2005, p.78).

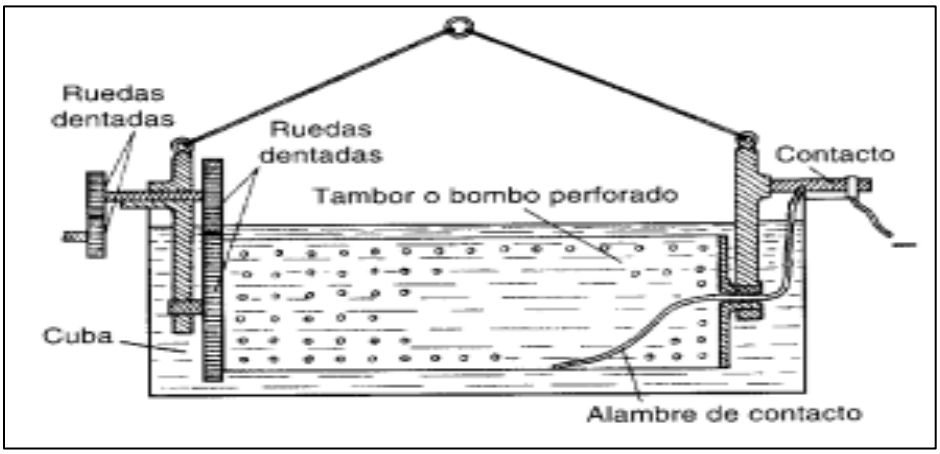


Figura 23-2. Diagrama de un tambor sumergido

Fuente: (Alcaraz, 2005).

2.7. Temperatura

El aumento de la temperatura se traduce como un aumento en la difusión de los iones en el

electrolito y asimismo un aumento en la densidad de corriente. Esto permite dar mejores resultados al producto, teniendo granos más brillantes y finos, evitando los grumos y aspectos visuales no deseados. Los métodos para aumentar la temperatura en los baños van desde el uso de resistencias eléctricas hasta el uso de calentamiento por transferencia de calor, usando tubos que transporten calor, las cuales tienen eficiencias de hasta el 95% respectivamente.

2.8. Agentes de añadidura

Estas sustancias químicas permiten en pequeñas cantidades modificar la textura cristalina, en estos tenemos a los abrillantadores, purificadores, nivelantes, humectantes, entre otros (Alcaraz, 2005, p.80).

2.8.1. Nivelantes

Impiden el continuo crecimiento en las puntas de las piezas, logrando añadir velocidad al crecimiento en los valles cristalinos.

2.8.2. Agentes disminuidores de tensión

Limitan las tensiones que están asociadas al crecimiento cristalino.

2.8.3. Abrillantadores

Permiten mayor desarrollo en las puntas de las piezas, permitiendo más velocidad de crecimiento en los valles cristalinos.

2.8.4. Humectantes

Reduce la tensión superficial, facilitando el desprendimiento de las moléculas de hidrogeno, mejorando así la superficie catódica.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLOGICO

3.1. Tipo de Estudio

3.1.1. Estudio Exploratorio

Gracias a la búsqueda de bibliografía utilizada en las bibliotecas virtuales brindadas por la ESPOCH, se hizo una recopilación de la información necesaria para el desarrollo de procesos de galvanizado y tropicalizado, junto con la ayuda de varias tesis para sustentar este proyecto, esta investigación incluye fundamentos teóricos como la ley de Faraday, electroquímica, conductividad eléctrica, etc. Con el objetivo de elegir las mejores condiciones y sustancias para optimizar el proceso y obtener la mejor calidad del producto, siendo este, el recubrimiento metálico esperado para proteger a los accesorios automotrices, tales como pernos, tornillos, platinas, tuercas, etc. Sumándose a esto, la correcta elección de los materiales a utilizar.

3.1.2. Estudio Experimental

Para la obtención del recubrimiento metálico se debe tener en consideración las variables que determinaran la calidad del mismo, tales como la concentración del ácido que actuara como electrolito, la calidad del ánodo de sacrificio, el cual influirá en gran medida ya que protegerá al metal deseado. También la cantidad de voltaje e intensidad mínima necesaria para que el proceso ocurra sin problemas e interrupciones, cada etapa del proceso previo al recubrimiento se basa en limpiezas que se le da al metal a recubrir para que la adición de los iones del ánodo de sacrificio se adhiera correctamente sobre la superficie del metal a recubrir. Para tomar las variables e introducirlas en el diseño se tomarán la concentración del electrolito (acido), el peso inicial y final de los pernos que actuarán como cátodo, y los enjuagues correspondientes para la purificación del metal a proteger.

3.2. Experimentación

Para la parte experimental del proyecto se armará un prototipo del diseño en laboratorio que simbolice lo que se va a realizar en físico, para ello se acudió al laboratorio de Química orgánica, el cual está a cargo de la Dra. Patricia Layedra, desde el 25 de febrero al 9 de marzo del 2021.

3.2.1. Diagrama del proceso

Para estructurar de forma correcta el prototipo se debe entender cuál es el proceso para que quede claro el porqué de la utilización de los materiales en el laboratorio.

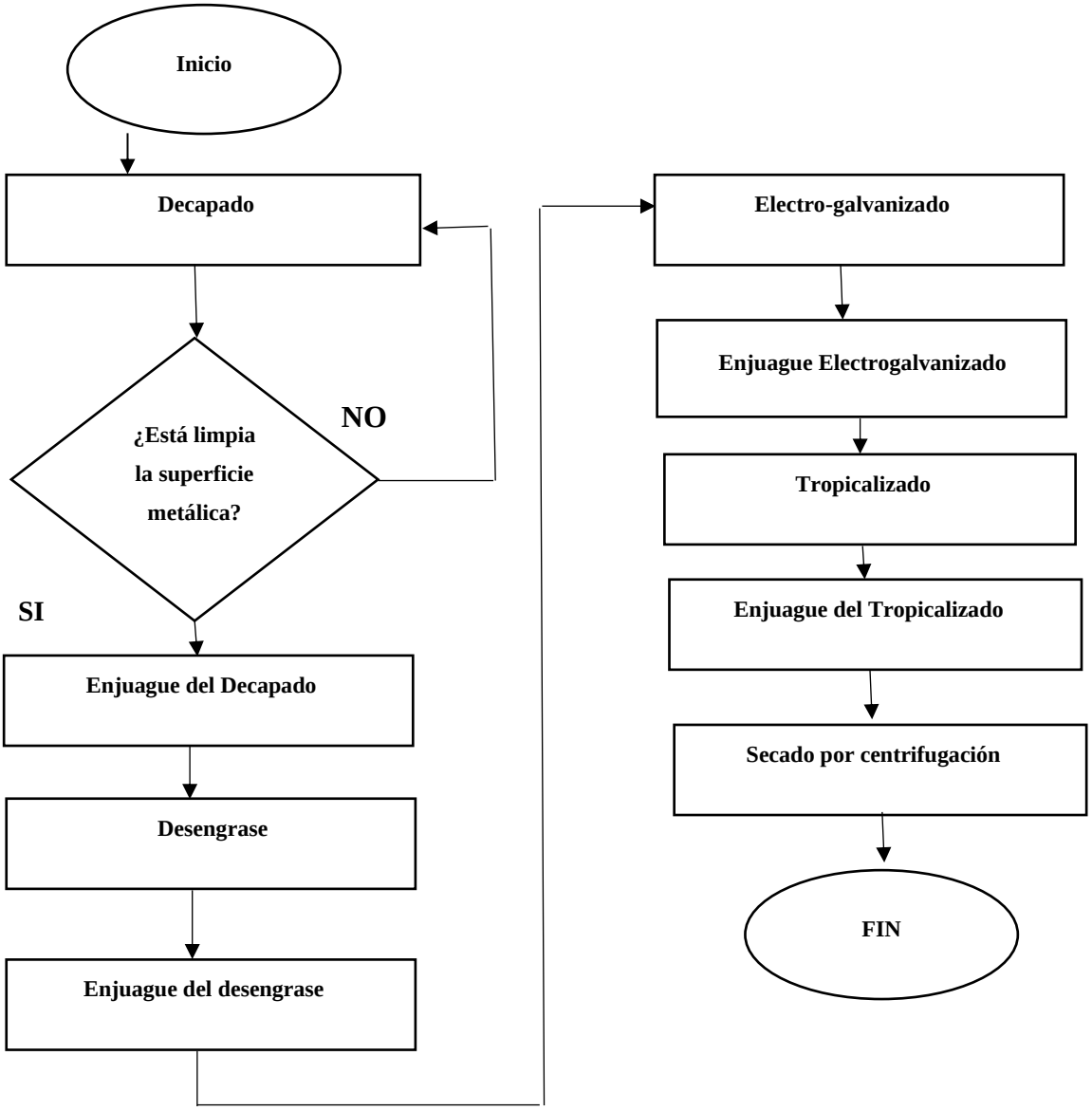


Figura 1-3. Flujo del proceso de la planta de galvanizado y tropicalizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Donde:

- **Decapado:**

Proceso en el cual se busca realizar un tratamiento superficial para la eliminación de impurezas en metales, tales como contaminantes, suciedad, polvo, compuestos inorgánicos, etc. Se utiliza un ácido para realizar este proceso.

- **Enjuague del Decapado:**

Se quita la sustancia usada en el decapado (Ácido) con agua.

- **Desengrase:**

Se busca desengrasar los metales con la ayuda de algún producto comercial que quite del metal cualquier efluente o aceite.

- **Enjuague del desengrase:**

Lavado del desengrasante usado con agua.

- **Electrogalvanizado:**

Se utiliza Zinc como ánodo de sacrificio para recubrir al metal de interés en una cuba electrolítica.

- **Enjuague del Electrogalvanizado:**

Se sumerge los metales recubiertos por el zinc en ácido clorhídrico y finalmente en agua.

- **Tropicalizado:**

Proceso de tropicalizado con un tropical con una marca comercial (Tropical 910 Irisado)

- **Enjuague de Tropicalizado:**

Lavado de los residuos del tropical empleado para el recubrimiento con agua.

- **Secado por centrifugado:**

Se aprovecha la fuerza centrífuga para deshacernos de la humedad excedente.

3.2.2. Materiales utilizados

- **Equipo de protección**

Debido a que el proceso requiere el uso de sustancias acidas, es necesario llevar el equipo de protección necesaria, tales como:

- Mascarilla
- Guantes de nitrilo negros
- Bata con tela antifluido

Figura 2-3. Equipo de protección usado

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Recipiente de vidrio**

Se utilizará un recipiente de vidrio para que pueda contener el electrolito con el cual se trasladaran los iones de Zinc hacia el perno que se quiere recubrir, debido a que el electrolito es acido, se requiere de materiales que sean capaces de resistir el pH que posee este tipo de sustancia, por lo que utilizar recipientes metálicos quedaría descartados debido a la alta corrosividad que presentaría, dejando como resultado pérdidas económicas.

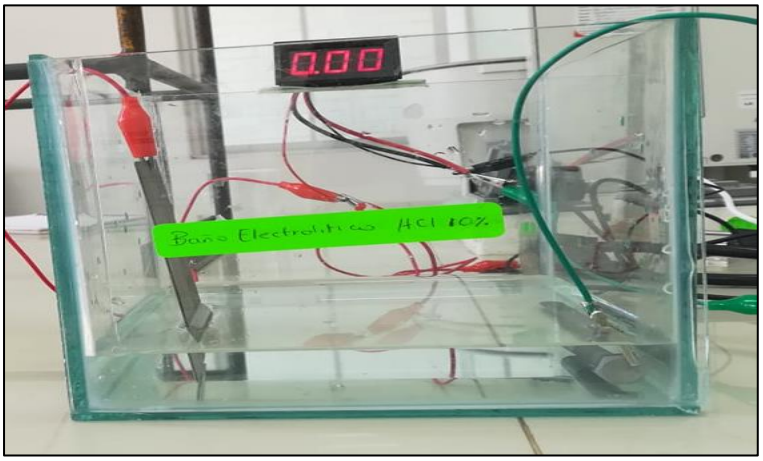


Figura 3-3. Recipiente escogido para el prototipo

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Vasos de precipitación**

Como en el proceso anteriormente descrito en el diagrama de barras, se entiende que habrá varias etapas de enjuague, en las que se utilizara agua destilada para deshacernos de los residuos de los tratamientos previos que usaron acido, como el desengrase y el decapado acido, por lo que para simular este proceso se utilizaran varios vasos de precipitación los cuales estarán llenos con ácido y con agua destilada para simular el enjuague.

Figura 4-3. Recipientes de vidrio escogido para el prototipo

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Pipeta**

Para la toma de los ácidos que actuaran como electrolitos se utilizaran varias pipetas para los distintos tipos de ácidos a utilizar y que estas no se contaminen al entrar en contacto con otro tipo de sustancia.

Figura 5-3. Pipeta volumétrica

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Adaptador de corriente**

Para el diseño real se requerirá una corriente de 10 amperios y una corriente de 12 V, y para ello se requiere de un transformador-rectificador con 120 W, para el prototipo se usará un adaptador de corriente con salida de 9V y 5 Amp (cargador de laptop) los cuales son las cantidades de voltaje y amperaje mínimo necesario para que se produzca la electrolisis deseada.

Figura 6-3. Adaptador de laptop

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Amperímetro**

El amperímetro es un instrumento electrónico de medida de la intensidad de la corriente, se conecta entre la conexión del adaptador de corriente y el ánodo de sacrificio y el cátodo o metal

a recubrir, todo ello con objetivo de asegurar el paso de intensidad de corriente necesaria para el correcto desarrollo del proceso.

Figura 7-3. Amperímetro

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Cables dientes de caimán**

Son cables con terminaciones en forma de pinzas que facilitan el agarre de estas con otros objetos, con esto se conectara y unir las conexiones entre el ánodo, cátodo, amperímetro y adaptador de corriente.

Figura 8-3. Cables: rojo (cátodo) y negro (ánodo)

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Ánodo**

Es el metal de sacrificio, es decir, el metal que se descompondrá para lograr el recubrimiento sobre el material de interés a proteger, este se descompondrá mediante el electrolito, el ánodo elegido para este proceso el zinc ya que es el método que predomina para realizar recubrimientos en acero, material el cual está compuesto mayor parte de las piezas eléctricas automotrices (pernos, tornillos, platinas).

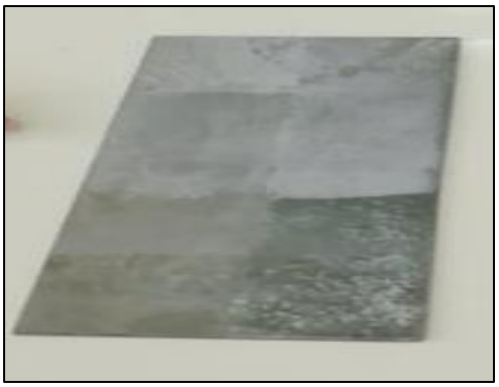


Figura 9-3. Zinc

Realizado por: (Flores J, 2021).

- **Cátodo**

El cátodo es el material de interés a recubrir, y asimismo es la otra parte importante para que se produzca una reacción de tipo oxido reducción, los electrones liberados del ánodo viajan por medio del electrolito hacia el cátodo, en donde se consumen por la acción de un agente oxidante. El cátodo para este trabajo de integración curricular serán diversas piezas eléctricas automotrices, ya que al estar en contacto con el electrolito de la batería del carro (ácido sulfúrico), corren el riesgo de corroerse.

Figura 10-3. Pernos y tornillos a recubrir

Realizado por: (Flores J, 2021).

3.2.3. Diseño del prototipo

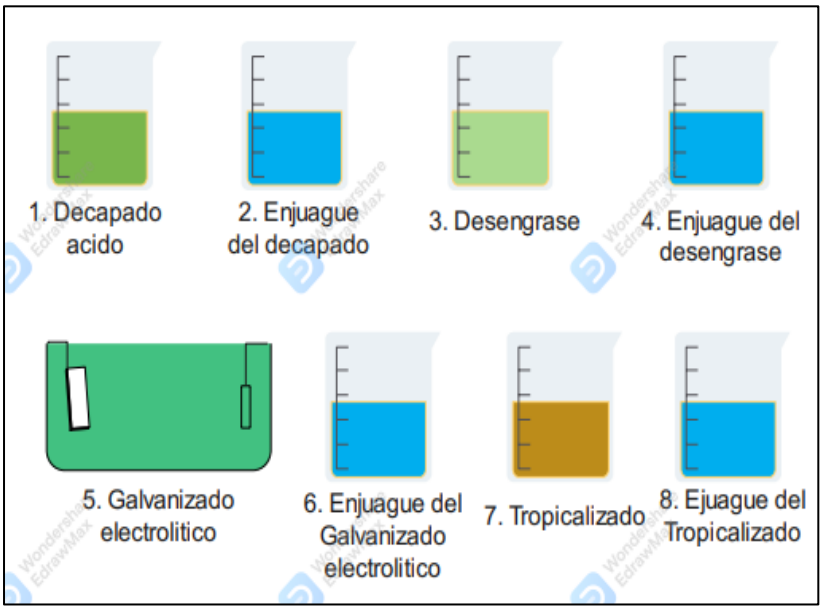


Figura 11-3. Diseño del prototipo

Realizado por: (Flores J, 2021).

Para el desarrollo de este prototipo se utilizaron los materiales antes mencionados, este es una representación en escala de laboratorio de lo que se desea plasmar, el objetivo es adquirir experiencia con el proceso, y la recolección de datos para el correcto dimensionamiento del diseño que se realizará posteriormente.

Para esto se ha seleccionado a los accesorios cuyo objetivo es tropicalizar, para ello se adquirió tornillos y pernos de acero bajo carbono SAE 1010 mostrados en la figura 11-3.

3.2.3.1. Decapado Acido

Para la simulación de este proceso se preparó una solución de ácido clorhídrico al 25% por volumen, es decir, por cada 100 ml, se deben agregar 25 ml de HCl, como se recubrirán pernos para la fase experimental, se usará un volumen de 250 ml, por consiguiente:

$$V_{HCl} = \frac{25ml_{HCl}}{100ml_{sol}} x250ml_{sol}$$

$$V_{HCl} = 62.5ml_{HCl}$$

Se miden 62.5 ml de Ácido Clorhídrico en la Sorbona para evitar la salida de gases que pueden

causar daños en las vías respiratorias, para luego proceder a diluir en los 250ml de agua destilada previamente preparados en un vaso de precipitación, hecho esto se procede a sumergir las piezas para lograr la limpieza de grasa, óxidos y calaminas de la superficie a recubrir, esto durante aproximadamente 15 minutos.

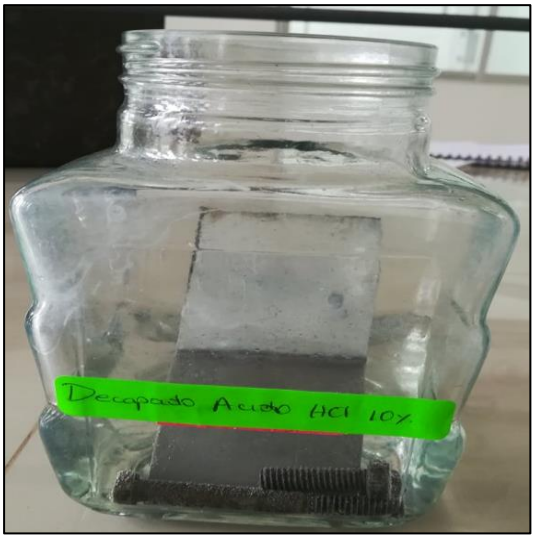


Figura 12-3. Decapado acido de las piezas

Realizado por: (Flores J, 2021).

3.2.3.2. Enjuague del decapado

En un recipiente se llena de agua destilada, nuevamente debido al volumen del tornillo a recubrir, solo se usarán 250ml de la misma. El objetivo de este proceso es de limpiar los residuos del ácido clorhídrico del decapado acido realizado anteriormente.

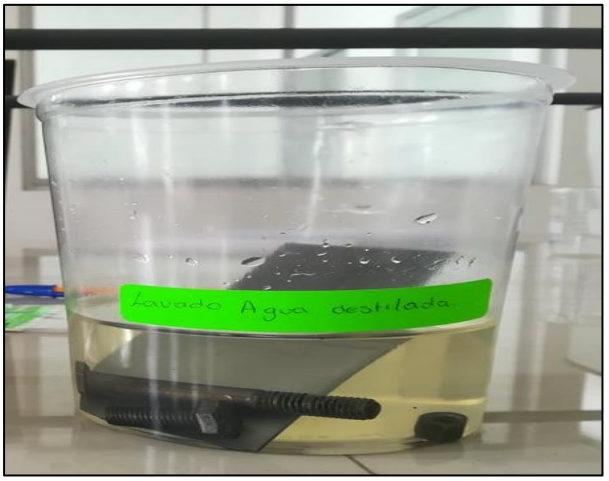


Figura 13-3. Enjuague del decapado

Realizado por: (Flores J, 2021).

3.2.3.3. Desengrase

Este proceso se realiza cuando el material este engrasado en pequeñas cantidades en su superficie, se empleará un desengrase alcalino, debido a que es el más efectivo que existe para la realización de este objetivo, para ello se utilizara Hidróxido de sodio, a este se le adhieren sustancias que tengas propiedades alcalinas, tales como: Carbonato sódico, bórax, fosfatos, etc. También agentes tensoactivos como el jabón para ayudar al proceso de limpieza.

3.2.3.4. Enjuague del desengrase

En esta etapa se vuelve a sumergir las piezas que han sido lavadas por el proceso de desengrase, para quitar los residuos del hidróxido de sodio y el jabón, utilizando agua destilada para remover cualquier impureza que pueda intervenir en el proceso de galvanizado electrolítico.

3.2.3.5. Galvanizado electrolítico

Esta es la etapa de interés, ya que aquí es donde por medio de la electricidad, los iones de Zinc viajaran mediante el electrolito empleado hacia la superficie a recubrir, siendo este los pernos y tornillos previamente tratados. Para la preparación del electrolito se elegirá realizar un electrolito alcalino no cianurado, para ello se prepara una solución de NaOH con una concentración de 4 M y $ZnCl_2$ 0,25 M en 250 ml respectivamente.

Preparación de las soluciones:

- **NaOH**

Pesos moleculares:

Na = 22,98 gr

O = 16 gr

H = 1 gr

1 n NaOH = 39,98 gr NaOH

$$4\ M\ NaOH$$

$P = I\ x\ t\ x\ Q$ c

$$Masa_{NaOH} = \frac{n\ NaOH}{L} x \frac{39{,}98\ gr\ NaOH}{1\ n\ NaOH}\ x\ 0{,}25\ L$$

$$Masa_{NaOH} = 39{,}98\ gr\ NaOH$$

Se disuelven 39,98 gr de NaOH en 250 ml agua destilada.

- $\boldsymbol{ZnCl_2}$

Pesos moleculares:

Zn= 65,38

Cl2= 35,453 x 2 = 70.906 gr

1 n ZnCl2 = 136,286 gr

$$Masa_{ZnCl_2} = 0{,}25\frac{nZnCl_2}{L}x\frac{136{,}286\ gr}{1\ nZnCl_2}x0{,}25L$$

$$Masa_{ZnCl_2} = 8{,}51\ gr\ ZnCl_2$$

Se disuelven los $8{,}51\ gr\ ZnCl_2$ calculados en 250 ml de agua destilada para obtener la solución con la concentración deseada, una vez hecho esto se procede a mesclar ambas soluciones y colocar la mescla en un recipiente de vidrio, misma que servirá como contenedor para realizar la electrolisis, asimismo también se conectaron las partes fundamentales para la elaboración del prototipo, con ayuda de un alicate se extrajeron los cables del adaptador para transformar la corriente eléctrica, para proceder a hacer las respectivas conexiones con el amperímetro y los cables con dientes de caimán, que a su vez sujetarían al ánodo (zinc) y al catado (perno).

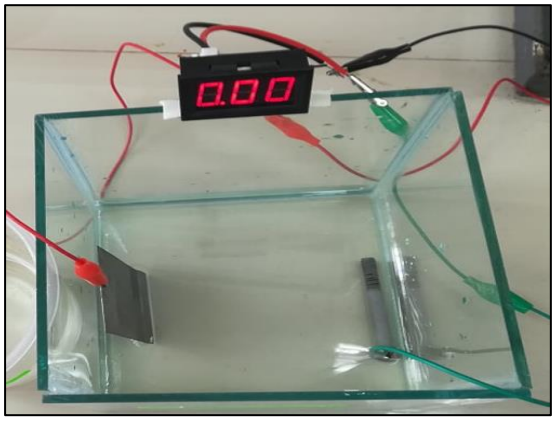


Figura 14-3. Galvanizado electrolítico

Realizado por: (Flores J, 2021).

3.2.3.6. Baño del electrogalvanizado

En esta etapa se lavan las piezas tratadas con ácido clorhídrico preparado en el decapado acido, esto con el objetivo de purificar las mismas del electrolito empleado, sobre todo teniendo en

cuenta de que este tenía un pH alcalino, por lo que se debe neutralizar para evitar que este se oxide debido a esto. En el diagrama de Pourbaix del Zinc, se aprecia que se produce la oxidación a un pH mayor a 8 (Grafico 1-2).

Figura 15-3. Enjuague de Galvanizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Se los deja reposar por 10 minutos para finalmente limpiarlos en agua destilada.

Durante el proceso se tomaron los pesos cada 15 minutos para tomar control de la cantidad en gramos de la capa de protección en los accesorios galvanizados.

3.2.3.7. Tropicalizado

Esta etapa del proceso consiste en recubrir la pieza por un determinado número de inmersiones, es decir, el número de inmersiones es proporcional a la capa del recubrimiento, para ello se adquirió una sustancia llamada Tropical 910 Irizado, la cual es una sustancia que posee un pH de 4, lo cual ayuda a mantenerlo con un pH adecuado para evitar la corrosión del Cincado y también dará una capa de protección extra contra la corrosión soportando más condiciones ambientales, añadiendo a esto la presentación estética del producto, ya que da una apariencia de color amarillo eléctrico, pasando a verde intenso. Cabe recalcar que la tonalidad que adquirirá dependerá del tiempo que sean sumergidos los accesorios en la solución. Para este proceso se realizarán 7 inmersiones.

Procedimiento:

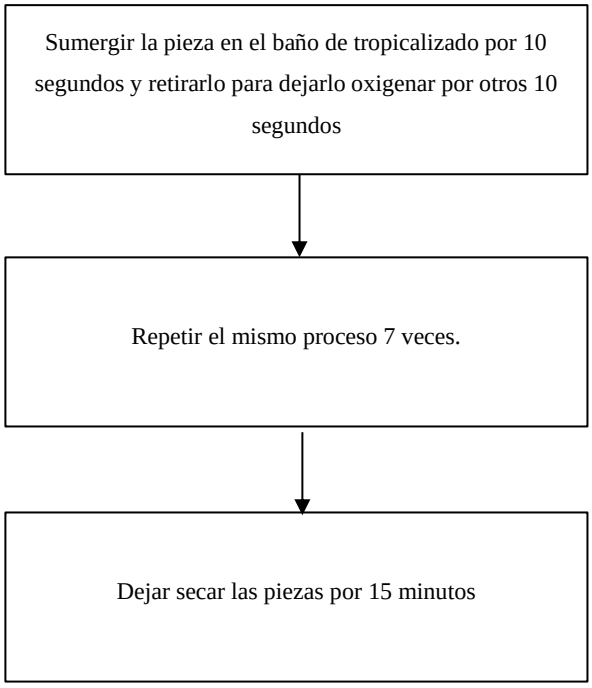


Figura 16-3. Procedimiento del tropicalizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

3.2.3.8. Enjuague del Tropicalizado

Se sumergen las piezas en agua destilada por 15 minutos para retirar los residuos y secarlos por centrifugación.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Ley de Faraday

La cantidad de electricidad que pasa a través del electrolito en un baño de recubrimientos metálicos es directamente proporcional a la cantidad de masa de cualquier electrodo. Asimismo, este indica en su segunda ley que la cantidad de masa producida por esta electricidad son directamente proporcionales a sus equivalentes químicos. Teniendo así, tenemos:

$$P = I\ x\ t\ x\ Q$$

Donde:

P= peso del metal electrodepositado

I= Intensidad de corriente (amperios)

t= tiempo (h)

Q= equivalente quimico

Usando el valor del Equivalente químico por 100 amperios de intensidad de corriente se obtiene de la tabla N1 la cual se encuentra en anexos, reemplazando valores tenemos:

$$P = I\ x\ t\ x\ Eq$$

$$P = (5\ amp)\ x\ (0{,}083\ h)\ x\ \left(1{,}2210\frac{gr}{Amp\ x\ h}\right)$$

$$P = 0{,}5067\ gr$$

Según lo calculado, teóricamente se debe depositar 0,5067 gr sobre la superficie del perno.

Nos dice León y Puebla (2006, p.162), en su parte experimental demuestran que obtienen una cantidad de 2,06 gr sobre la superficie a recubrir, siendo una cantidad elevada debido a la intensidad utilizada (30 amp) debido a la cantidad de superficie a recubrir. Comparando con el resultado obtenido, se comprende que los 5 amperios utilizados son suficientes para la superficie a recubrir (pernos).

4.2. Rendimiento del cátodo

La cantidad en gramos depositados sobre el metal a proteger es menor a la teórica, se relacionan

ambos valores para saber que ten bien está yendo el proceso. Para calcularlo se tiene:

$$\eta = \frac{Pr}{P}\ x\ 100$$

Donde:

$\boldsymbol{\eta} = Rendimiento\ del\ baño\ electrolitico$

$\boldsymbol{Pr} = Peso\ real\ obtenido$

$\boldsymbol{P} = peso\ teorico$

$$\eta = \frac{0{,}353\ gr}{0{,}506\ gr} x100$$

$$\eta = 69{,}76\%$$

Según León y Puebla (2006, p.141), el rendimiento es considerado aceptable por sobre el 65%, debido al nivel de cercanía que tiene el peso real con el teórico.

4.3. Peso del recubrimiento obtenido mediante el rendimiento

$$G = Eq\ x\ t\ x\ I\ x\ \eta$$

Donde:

$\boldsymbol{G} = Peso\ en\ gramos\ del\ recubrimiento$

$\boldsymbol{t} = tiempo\ (h)$

$\boldsymbol{I} = Intensidad\ (amp)$

$\boldsymbol{Eq} = Equivalente\ quimico$

$\boldsymbol{\eta} = Rendimiento$

El equivalente químico es obtenido de la tabla N1, reemplazando tenemos:

$$G = \left(1{,}2210\ \frac{gr}{amp\ x\ h}\right) x\ (0{,}0833\ h)\ x\ (5\ Amp)\ x\ 0{,}60$$

$$G = 0{,}3051\ gr$$

Cantidad que coincide con el peso que aumento con el tratamiento de electrolisis realizado.

León y Puebla (2006, p.142), explica que el depósito del metal aumentara conforme aumente la intensidad de corriente, teniendo en cuenta que se usó una intensidad de corriente de 5 amperios es razonable el resultado obtenido.

4.4. Tiempo del baño electroquímico

$$t = \frac{G}{Eq\ x\ I\ x\ \eta}$$

Donde:

$\boldsymbol{G} = Peso\ en\ gramos\ del\ recubrimiento$

$\boldsymbol{t} = tiempo\ (h)$

$\boldsymbol{I} = Intensidad\ de\ corriente\ segun\ la\ superficie\ a\ recubrir\ (amp)$

$\boldsymbol{Eq} = Equivalente\ quimico$

$\boldsymbol{\eta} = Rendimiento$

Partiendo del rendimiento obtenemos el tiempo de inmersión, teniendo en cuenta la densidad de corriente y la cantidad de superficie a recubrir.

$$I = A\ x\ D$$

Donde:

$\boldsymbol{D} = Cantidad\ de\ corriente\ que\ atravieza\ por\ unidad\ de\ area$

$\boldsymbol{A} = Area$

Entonces, partiendo de la tabla N2 obtenemos la densidad de corriente en función del espesor depositado (D), y midiendo uno de los pernos obtenemos el área a recubrir:

$$A_{hexagono} = \frac{Perimetro\ x\ Apotema}{2}$$

Para obtener el área total a recubrir se realizará una suma de las áreas del tornillo pequeño como muestra, y luego sumar todas las áreas para obtener el área total. Para ello se divide al tornillo en dos dimensiones y se obtiene el área total que va a ser recubierto por el zinc. La primera medida es del tornillo con vista de la planta superior.

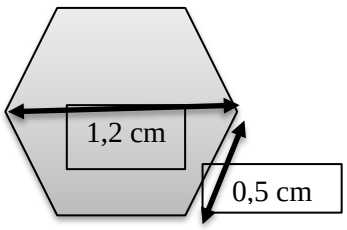


Figura 1-4: Dimensiones del perno pequeño, vista planta superior

Realizado por: (Flores J, 2021).

$$Perimetro_{hexagono} = 6(l)$$

$$Perimetro_{hexagono} = 6(0{,}5\ cm)$$

$$Perimetro_{hexagono} = 3\ cm$$

$$Apotema = \frac{1{,}2\ cm}{2}$$

$$Apotema = 0{,}6\ cm$$

$$A_{hexagono} = \frac{6\ cm\ x\ 0{,}6\ cm}{2}$$

$$A_{hexagono} = 1{,}8\ cm^2$$

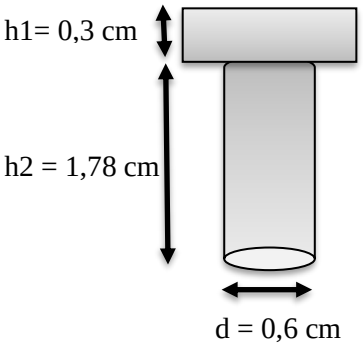


Figura 2-4: Dimensiones del perno pequeño, vista alzado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Ahora obtenemos las áreas al dividir al tornillo en diferentes formas geométricas, las cuales son: Rectángulo y cilindro, estas medidas son correspondientes al tornillo con vista alzado.

$$A2_{hexagono} = h1\ x\ Perimetro_{hexagono}$$

$$A2_{hexagono} = (0{,}3\ cm)x\ (3\ cm)$$

$$A2_{hexagono} = 0{,}9cm^2$$

Se suma el área de la superficie de cada lado del hexágono junto con el área del hexágono en vista superior.

$$A_{hexagono-Total} = A_{hexagono} + A2_{hexagono}$$
$$A_{hexagono-Total} = 1{,}8\ cm^2 +\ 0{,}9cm^2$$
$$A_{hexagono-Total} = 2{,}7\ cm^2$$

Obtenemos el área de la segunda figura obtenida del tornillo (cilindro):

$$A_{cilindro-Total} = 2A_b + Al$$
$$A_{Base} = \pi r^2$$
$$A_{Base} = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2$$
$$A_{Base} = \pi\left(\frac{0{,}6\ cm}{2}\right)^2$$
$$A_{Base} = 0{,}28\ cm^2$$

$$A_{lateral} = 2\pi rh$$
$$A_{lateral} = 2\pi\frac{d}{2}h$$
$$A_{lateral} = 2\pi\frac{0{,}6\ cm}{2}(1{,}78\ cm)$$
$$A_{lateral} = 3{,}35\ \ cm^2$$

$$A_{cilindro-Total} = 2(0{,}28\ cm^2) + (3{,}35\ \ cm^2)$$
$$A_{cilindro-Total} = 3{,}91\ \ cm^2$$

Sumando el área del hexágono con el área del cilindro tenemos:

$$A_{perno} = 3{,}91\ \ cm^2 + 2{,}7\ \ cm^2$$
$$A_{perno} = 6{,}6\ cm^2$$

Transformando a dm2:

$$6{,}6\ cm^2 x\frac{0{,}01\ dm^2}{1\ cm^2} = 6{,}6\ x\ 10^{-2}\ dm^2$$

Reemplazando:

$$I = A\ x\ D$$

$$I = 6{,}6\ x\ 10^{-2}\ dm^2\ x\ 5{,}82 \frac{A\ amp}{dm^2}$$

$$I = 0{,}3841\ Amp$$

Reemplazo la intensidad obtenida y calculamos el tiempo de baño:

$$t = \frac{G}{Eq\ x\ I\ x\ \eta}$$

$$t = \frac{0{,}3051\ gr}{1{,}2210\ \frac{gr}{amp\ x\ h}\ x\ 0{,}3841\ Amp\ x\ 0{,}60}$$

$$t = 1{,}08\ h$$

Para obtener el recubrimiento necesario sobre la superficie de la pieza seleccionada a esa intensidad de corriente es necesario dejarlo funcionar durante 1h y 5 minutos.

4.5. Espesor del recubrimiento

La textura del recubrimiento final dependerá de la contextura del metal base, si la superficie es lisa y sin rugosidades, el recubrimiento lo será de la misma manera.

$$S = \frac{G}{\alpha\ x\ \gamma\ x\ 10}$$

Donde:

$\boldsymbol{S} = Espesor\ del\ recubrimiento$

$\boldsymbol{G} = Peso\ del\ recubrimiento$

$\boldsymbol{\alpha} = Area\ de\ la\ superficie\ a\ recubrir\ mm2$

$\boldsymbol{\gamma} = Peso\ especifico\ del\ Zinc$

$\mathbf{10} = Factor\ de\ la\ formula$

Reemplazando:

$$S = \frac{3{,}051x10^{-4}\ kg}{6{,}6\ mm^2\ x\ 7{,}190\ \frac{kg}{dm^3}\ x\ 10}$$

$$S = 6{,}09\mu m$$

Según el cálculo realizado, se tiene depositado un espesor de $6{,}09\mu m$ en el perno pequeño, teniéndose en cuenta que este va a variar dependiendo del tamaño y espesor de cada perno, con ayuda del calibre se determina que para el perno pequeño tiene un espesor de 0.6 mm.
Según Técnico (2015, p.419), explica que el espesor de recubrimiento tiene un límite de 9µm, por lo que se encuentran dentro de los límites establecidos.

4.6. Análisis de las curvas del peso en función del tiempo del recubrimiento

Se toman datos del peso cada 15 minutos para determinar la cantidad de metal depositado sobre la superficie del perno.

Tabla 1-4: Pesos vs Tiempo de las piezas galvanizadas

Tiempo (min)	0 min	5 min	15 min	30 min	45 min	60 min
Perno pequeño (gr)	12,095	12,134	12,214	12,263	12,333	12,397
Perno grande (gr)	26,943	26,994	27,040	27,115	27,194	27,224
Tuerca (gr)	4,634	4,688	4,739	4,798	4,883	4,935

Realizado por: (Flores J, 2021).

De acuerdo a León y Puebla (2006, p.167), explican en su trabajo que a medida que pase el tiempo, la cantidad de recubrimiento aumentara en función de la intensidad de corriente aplicada, en la tabla 1-4 se puede evidenciar perfectamente el aumento progresivo del peso a medida que transcurre el tiempo.

- **Análisis**

Después de una hora de realizar la electrolisis para obtener el recubrimiento deseado se obtuvo un aproximado de 0,046 gramos en promedio de adición de zinc sobre la superficie de los accesorios en los primeros 5 minutos y de 0,353 gr en promedio pasado los 60 minutos. teniéndose en cuenta que la intensidad de corriente juega un papel importante en la velocidad de deposición metálica para el recubrimiento deseado.
Se debe tomar en consideración para la realización del recubrimiento la ley de Faraday, misma que tiene relación con la ley de la conservación de la materia, para después, a partir de ello, calcular el rendimiento con el cual está trabajando la electrodeposición sobre el accesorio de interés (Perno).

4.6.1. Electro galvanizado

Las variables con las que funcionara el electrogalvanizado son:

Tabla 2-4: Variables del proceso del electrogalvanizado

pH	14
Voltaje	9 V
Temperatura	20 C
Intensidad	5 amperios

Realizado por: (Flores J., 2021).

Alcaraz (2005, p.106), expone que para que exista electrolisis se necesita un mínimo de 5 Amperios y 9 volteos, asimismo se debe tener en cuenta la temperatura, ya que este afecta la cinética molecular afectando directamente en el resultado de la deposición final del recubrimiento, a temperatura ambiente tienen mejores resultados, esto se controla cada toma de peso de los pernos que están siendo recubiertos con ayuda de un termómetro.

4.6.1.1. Perno pequeño

Tabla 3-4: Variación del peso respecto al tiempo del perno pequeño

Tiempo (minutos)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Peso Adherido (gr)
0	12,095	12,095	0,000
10	12,095	12,263	0,129
20	12,263	12,397	0,134
30	12,397	12,565	0,168
40	12,565	12,677	0,112
50	12,677	12,869	0,192
60	12,869	12,991	0,122

Realizado por: (Flores J, 2021).

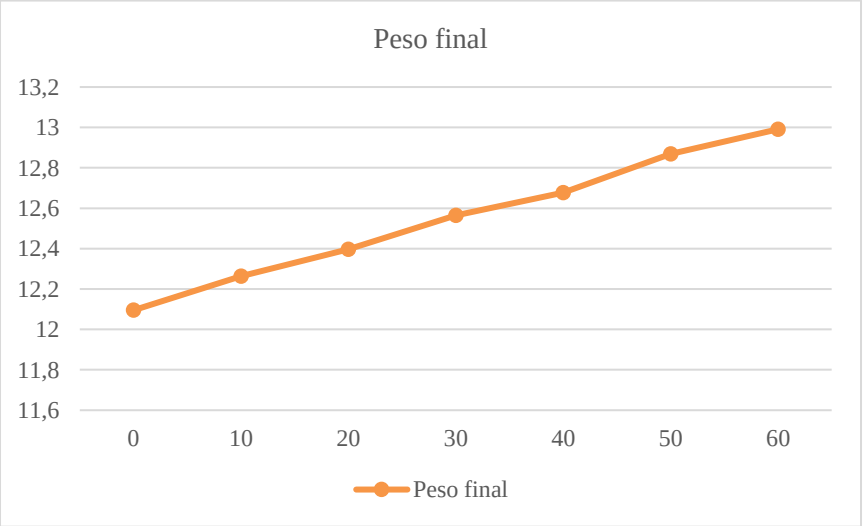


Gráfico 1-4. Peso adherido vs Tiempo del perno pequeño, galvanizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Como se puede observar en el grafico obtenido, se comprueba que a mayor tiempo del baño electrolítico mayor va a ser la cantidad de zinc depositado sobre el perno, teniendo un total de 0,857 gr de zinc depositado después de 1 hora de baño electrolítico.

4.6.1.2. Perno grande

Tabla 4-4: Variación del peso respecto al tiempo del perno grande

Tiempo (minutos)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Peso Adherido (gr)
0	26,943	26,943	0,000
10	26,943	27,115	0,172
20	27,115	27,224	0,109
30	27,224	27,383	0,159
40	27,383	27,531	0,148
50	27,531	27,663	0,132
60	27,663	27,808	0,145

Realizado por: (Flores J, 2021).

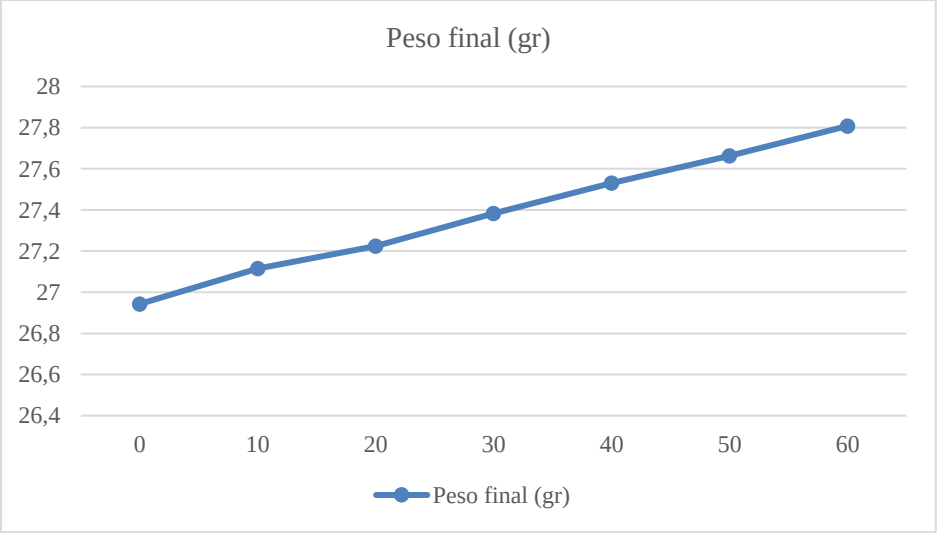


Gráfico 2-4. Peso adherido vs Tiempo del perno grande, galvanizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Como se puede observar en el grafico obtenido, se comprueba que a mayor tiempo del baño electrolítico mayor va a ser la cantidad de zinc depositado sobre el perno, teniendo un total de 0,865 gr de zinc depositado después de 1 hora de baño electrolítico.

Según León y Puebla (2006, p.169), muestra cómo se correlaciona el diámetro del objeto metálico a recubrir con respecto al peso final y por ende su espesor, siendo en este caso un peso de 0,865 gr de recubrimiento adherido en el perno grande.

4.6.1.3. Tuerca

Tabla 5-4: Variación del peso respecto al tiempo del perno grande

Tiempo (minutos)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Peso Adherido (gr)
0	4,634	4,634	0,000
10	4,634	4,798	0,164
20	4,798	4,935	0,137
30	4,935	5,037	0,102
40	5,037	5,285	0,248
50	5,285	5,439	0,154
60	5,439	5,604	0,165

Realizado por: (Flores J, 2021).

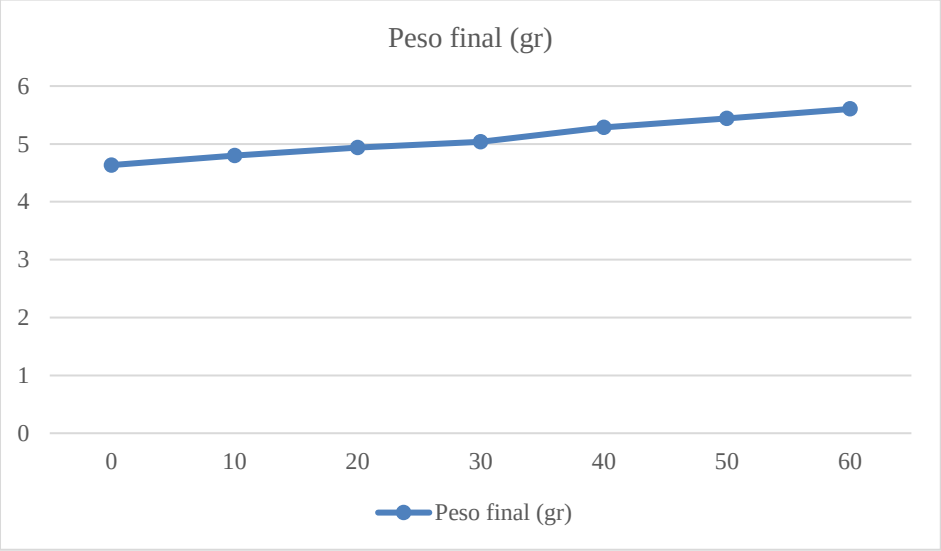


Gráfico 3-4. Peso adherido vs Tiempo de la tuerca, galvanizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Como se puede observar en el grafico obtenido, se comprueba que a mayor tiempo del baño electrolítico mayor va a ser la cantidad de zinc depositado sobre el perno, teniendo un total de 0,970 gr de zinc depositado después de 1 hora de baño electrolítico.

Según Técnico (2015, p.417), no se debe pasar de un máximo de espesor de recubrimiento según el diámetro del perno, esto debido a que puede rellenar los espacios del enroscado, haciendo que sea difícil al momento de atornillar, destruyendo el recubrimiento y haciéndolo vulnerable a la corrosión.

Para este perno, cuyo diámetro es de 0,6 mm, según Técnico (2015, p.419), el espesor máximo permitido para recubrimientos es de 9 µm.

Después de 2 horas del baño electrolítico se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 3-4. Comparación antes vs después del galvanizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Como se puede observar en la fotografía tomada, el perno pequeño se torna de una tonalidad plateada, esto debido a la capa de Zinc que ahora posee.

Figura 4-4. Elementos escogidos galvanizados

Realizado por: (Flores J, 2021).

4.6.2. Tropicalizado

Para realizar el tropicalizado se procedió a sumergir las piezas 7 veces respectivamente, para el análisis se usarán los pesos que adquirió mediante el galvanizado para compararlo con el tropicalizado según el tiempo y el número de inmersiones realizadas. Las variables con las que trabajara para el proceso de tropicalizado son:

Tabla 6-4: Variables del proceso del tropicalizado

pH	4
Temperatura	20 C
# Inmersiones	7

Realizado por: (Flores J, 2021).

De acuerdo a León y Puebla (2006, p.170), demuestra que para realizar el tropicalizado se necesita una temperatura ambiente para que esta pueda adherirse de mejor forma, ya que el proceso consiste simplemente en sumergir las piezas que han sido galvanizadas y previamente limpiadas del excedente del anterior baño, esta temperatura se controla con el termómetro. Para el número de inmersiones se comprende que entre más inmersiones tengan mayor protección va a tener, aportando al galvanizado realizado con anterioridad, dándole así mayor protección, sin embargo, se debe tener en cuenta el espesor, por lo que en promedio de 7 – 8 inmersiones es suficiente para obtener un buen resultado.

4.6.2.1. Perno pequeño

Tabla 7-4: Peso adquirido del perno pequeño durante el tropicalizado

# de inmersiones	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Adherido (gr)
1	12,991	13,003	0,012
2	13,003	13,023	0,020
3	13,023	13,128	0,105
4	13,128	13,251	0,123
5	13,251	13,346	0,095
6	13,346	13,421	0,075
7	13,421	13,588	0,167

Realizado por: (Flores J, 2021).

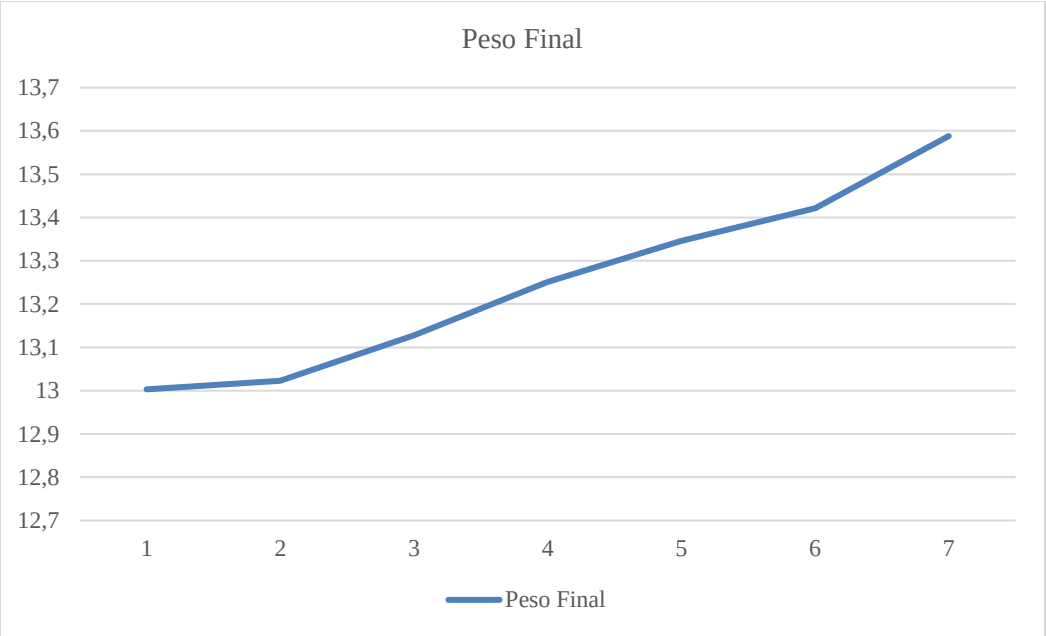


Gráfico 4-4. # de Inmersiones vs Peso final del perno pequeño, tropicalizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

León y Puebla (2006, p.171), explican cómo se va adhiriendo capas del cromatizado empleado para mayor protección en los pernos utilizados, estas dependen del tiempo de inmersión y del movimiento empleado durante la misma. Este recubrimiento extra va a aportar mayor peso al producto final, en este caso aportando 0,859 gr extra al peso final.

4.6.2.2. Perno Grande

Tabla 8-4: Peso adquirido del perno grande durante el tropicalizado

# de inmersiones	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Adherido (gr)
1	27,808	27,933	0,125
2	27,933	28,011	0,078
3	28,011	28,076	0,065
4	28,076	28,223	0,147
5	28,223	28,391	0,168
6	28,391	28,469	0,078
7	28,469	28,667	0,198

Realizado por: (Flores J, 2021).

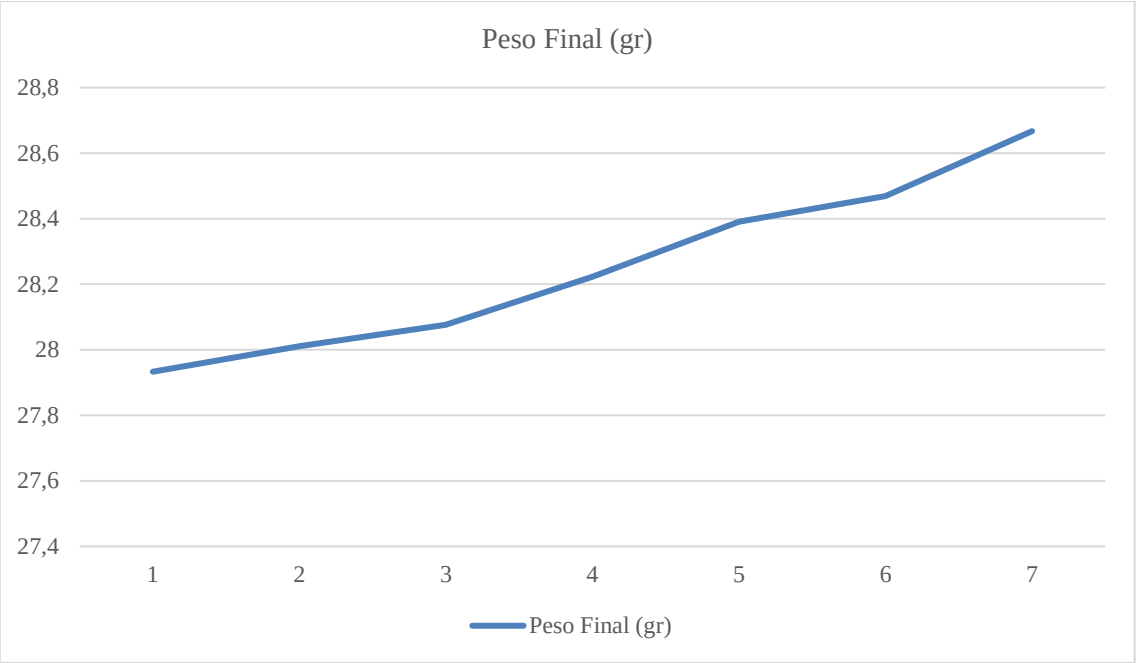


Gráfico 5-4. # de Inmersiones vs Peso final del perno grande, tropicalizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

Igual que en resultados anteriores se puede evidenciar claramente el aumento de peso obtenido debido a las inmersiones dadas para una mayor protección contra la corrosión.

4.6.2.3. Tuerca

Tabla 9-4: Peso adquirido de la tuerca durante el tropicalizado

# de inmersiones	Peso inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Adherido (gr)
1	5,604	5,728	0,124
2	5,728	5,793	0,065
3	5,793	5,831	0,038
4	5,831	5,864	0,033
5	5,864	5,955	0,091
6	5,955	6,057	0,102
7	6,057	6,187	0,130

Realizado por: (Flores J, 2021).

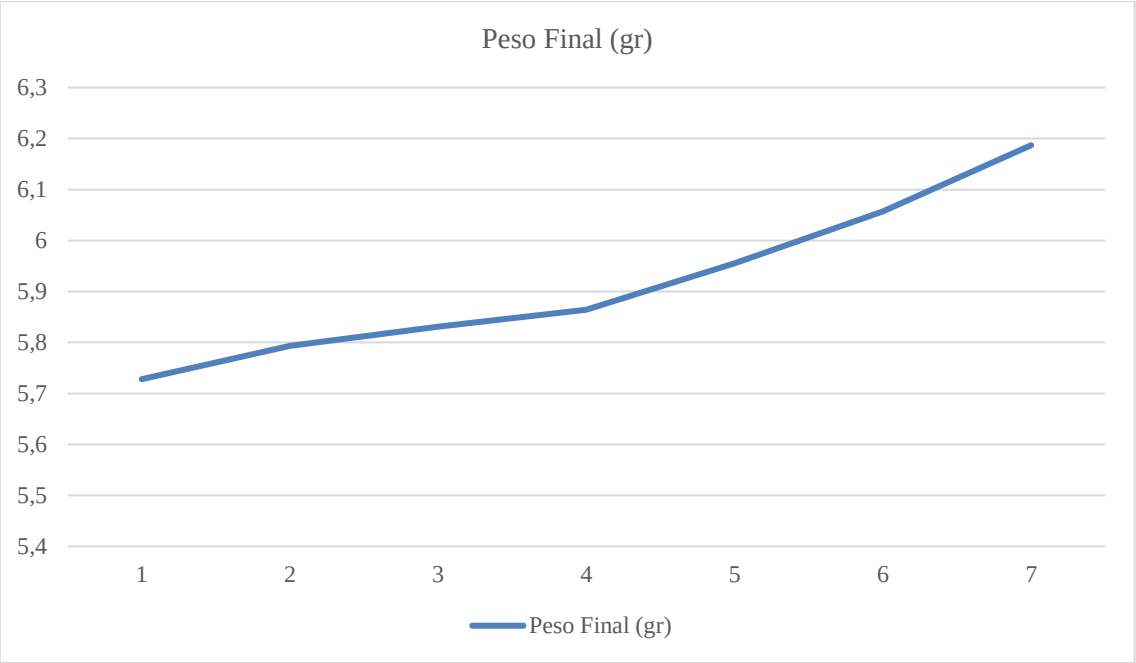


Gráfico 6-4. # de Inmersiones vs Peso final de la tuerca, tropicalizado

Realizado por: (Flores J, 2021).

El resultado obtenido fue el siguiente:

Figura 5-4. Elementos escogidos Tropicalizados

Realizado por: (Flores J, 2021).

Como se puede apreciar, el color resultante es de un amarillo intenso debido a la cantidad de inmersiones realizadas, con las cuales se logran adherir para dar protección y un aspecto agradable a la vista.

Según los gráficos obtenidos, se puede observar que a mayor número de inmersiones mayor va a ser el espesor del tropicalizado sobre el cincado realizado previamente, brindándole mayor resistencia contra la corrosión.

4.7. Control de calidad según las normas NTE INEN 1189:2013

Según lo especificado en las normas (NTE 2013), para corroborar la resistividad a la corrosión del galvanizado se debe recrear las condiciones del ambiente húmedo, para ello muestra una serie de requerimientos para construir una cámara que ayude a ambientar este proceso, para ello utilizamos el mismo recipiente que se usó para realizar el baño electrolítico, ya que es de vidrio, material que aceptan las normas. Los requerimientos solicitados fueron:

- El recipiente debe estar fabricado con un material resistente a la corrosión para no formar productos corrosivos.
- Dispositivo que permita calentar el agua dentro del recipiente.
- Termómetro ubicado a 150 mm del techo y de la puerta y 250 mm de la pared de la cámara

Procedimiento:

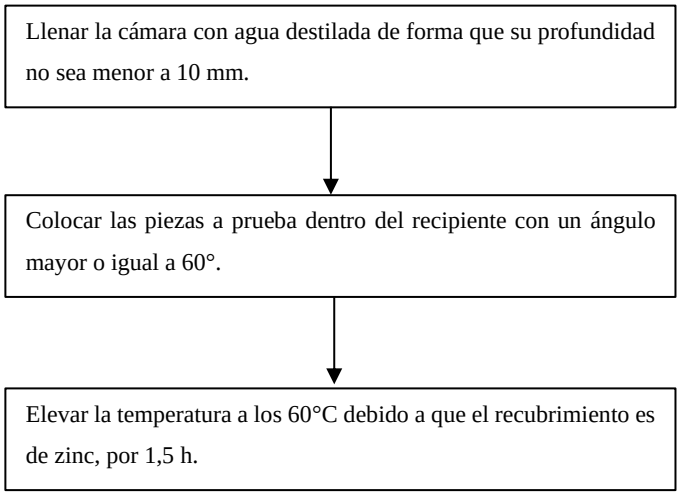


Figura 6-4: Procedimiento del control de calidad: Pieza galvanizada vs pieza no galvanizada

Realizado por: (Flores J, 2021).

Los resultados fueron los siguientes:

Figura 7-4. Resultados del control de calidad: Pieza galvanizada vs pieza no galvanizada

Realizado por: (Flores J, 2021).

Como se puede observar en la imagen, la pieza que no ha sido tropicalizada sufrió un proceso de oxidación, producida por la humedad relativa dentro del recipiente.

Según las normas NTE INEN 1189:2013, la forma de informar los resultados son los siguientes:

Tabla 10-4: Resultados de la evaluación de control de calidad

	Perno galvanizado	**Perno sin galvanizar**
Descripción del recubrimiento o producto ensayado	Perno color grisáceo, con superficie lisa y seca previo a la práctica.	Perno color negro, superficie lisa y seca previa a la práctica.
Dimensiones y forma de la muestra, naturaleza y área de la superficie ensayada	7 cm de largo x 1,3 cm de diámetro en la base, apotema de 1 cm en el hexágono.	7 cm de largo x 1,3 cm de diámetro en la base, apotema de 1 cm en el hexágono.
Preparación de la muestra	Desengrase alcalino (NaOH) con jabón disuelto.	Desengrase alcalino (NaOH) con jabón disuelto.
Características conocidas del recubrimiento	Recubrimiento galvánico de $15{,}09\mu m$ de espesor	Recubrimiento de carbono
Numero de muestras	2	2
Método de secado	Centrifugación	Centrifugación
Angulo de inclinación de las muestras	71°	69°
Temperatura de ensayo	50°C	50°C
Duración del ensayo	1h 50 min	1h 50 min

Anomalías detectadas	Ninguna	Oxidación química observable

Realizado por: (Flores J, 2021).

Con el control de calidad ya realizado siguiendo las pautas dadas por las normas NTE INEN 1189:2013, mismas que se enfocan en evaluar cómo afecta la corrosión acelerada al recubrimiento dado, en ella se especifican los parámetros a observar, en donde los puntos críticos en el producto final se deben poner de acuerdo entre las partes interesadas, como la apariencia final del recubrimiento después de haber sido expuesto a este experimento.

Se desea que el producto tenga la capacidad de resistir condiciones ambientales húmedas y tropicales, por lo que al poner a prueba se comprobó que tiene mayor resistencia que el perno que no tiene recubrimiento de protección, por lo cual queda probada su resistencia a estas condiciones.

4.8. Diseño del proceso

Para el diseño del proceso se eligió según el tipo de producción: Barrel plating. Dado que lo que se busca es recubrir accesorios automotrices que no tienen gran tamaño y requieren de una producción por grupos. Para el diseño se empezará por la instalación que según Alcaraz (2005, p.108), da indicaciones en su texto a seguir:

4.8.1. Instalación galvánica

La instalación que va a contener la estructura del proceso para realizar las electrodeposiciones debe de contener una serie de elementos indispensables para su óptimo funcionamiento.

1. Almacenamiento de las piezas a tratar.
2. Área de lijado.
3. Área de carga de las piezas en tambores (Barrel)
4. Área del proceso:

a) Decapado acido
b) Enjuague del decapado acido
c) Desengrase
d) Enjuague del desengrase
e) Galvanizado electrolítico
f) Enjuague del galvanizado
g) Tropicalizado
h) Enjuague del tropicalizado
i) Secado por centrifugación

5. Área de purificación de las sustancias usadas
6. Almacén de sustancias químicas
7. Área de tratamientos de desechos químicos
8. Vestidores y primeros auxilios.

Cabe destacar que el lugar debe ser con ventilación, ventanas o orificios en las paredes que permitan el libre paso del aire para evitar la acumulación de gases que pueden llegar a ser irritantes para los operarios.

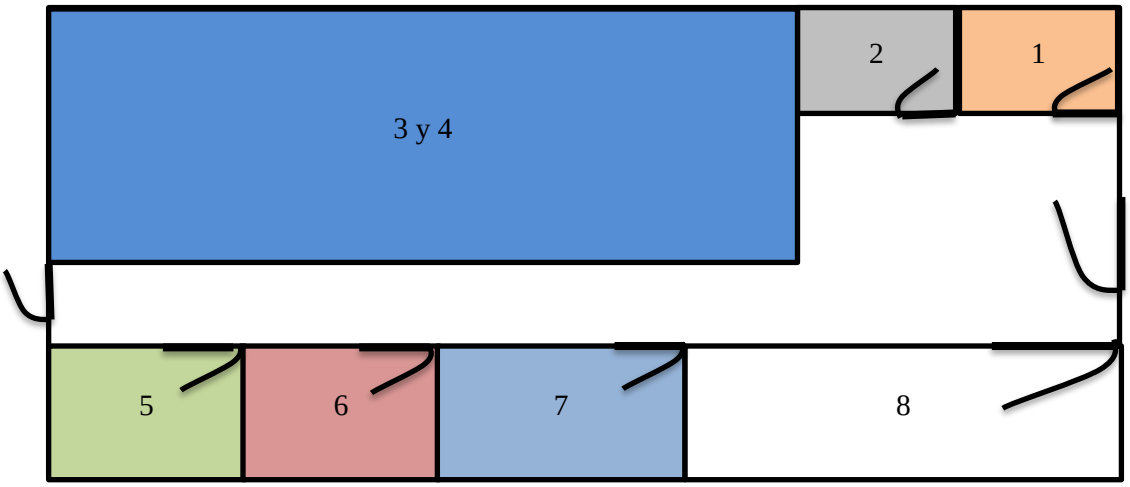


Figura 8-4. Distribución de la instalación

Realizado por: (Flores J, 2021).

4.8.1.1. Suelo del taller

El suelo es la parte más ignorada dentro del diseño del proceso, y es algo que no se debe de pasar por alto, ya que es la parte que va a recibir la mayor parte del daño debido a los derrames que suceden por accidente de las diferentes sustancias químicas que van a usarse.

El diseño del suelo debe darse de tal forma que permita la fácil evacuación de sustancias y asimismo de su limpieza dada la probabilidad de derrames.

Se debe usar cementos que están conformados por arenas específicas y resinas químicas que se aplican sobre hormigón en una capa de máximo 4 mm de espesor, y que, pasado un tiempo estimado de dos días, este adquiere la protección necesaria para resistir este tipo de eventos.

Florock (2021, p.92), explica que se debe de preparar el cemento adecuadamente para que este no presente fisuras y su superficie sea lo suficientemente lisa para después aplicar sobre la misma un epóxido llamado Floropoxy, el cual es una sustancia que brinda protección y resistencia al concreto, permitiendo que no se desgaste ante derrames de sustancias químicas, para ello se deben de preparar las sustancias junto con un pigmento si es necesario para mejorar la parte estética.

Para ello se necesita mezclar un producto llamado Floropoxy 4700, mismos que se encuentran distribuidos en dos partes (parte A y parte B) se mezclan las mismas junto con el pigmento el cual es opcional, una vez mesclado se procede a recubrir por toda la superficie que se desea proteger, este debe tener un espesor de 4 mm para asegurar que su protección sea la adecuada. Pasada las 24 horas se debe de pulir suavemente hasta obtener una fina capa de polvo.

4.8.2. Equipos y su justificación

4.8.2.1. Rectificador

Este equipo permite la transformación de la corriente alterna a corriente continua, asimismo permite la modificación de la salida del voltaje y amperaje, permitiendo la configuración de este dependiendo del baño utilizado.

4.8.2.2. Cubas electrolíticas

Estos son los recipientes que van a contener las sustancias que serán usadas, teniendo en cuenta que se utilizarán sustancias acidas para el decapado acido, y sustancias alcalinas para el desengrase y el electrogalvanizado, se debe seleccionar un material que resistan pH's tanto ácidos como alcalinos, y asimismo las variaciones de la temperatura que son ocasionadas por las reacciones electroquímicas producidas. Teniendo en cuenta lo mencionado, el material escogido por sus propiedades y costos es el PVC, teniendo en cuenta que estas solo resisten hasta los 65°C, lo que está en las medias aceptables de temperatura esperada.

4.8.2.3. Agitación

Con el paso del tiempo durante la electrolisis, la deposición de los iones sobre los accesorios va a ir disminuyendo debido a que la concentración de iones en todo el electrolítico no es homogénea, para corregir este problema es necesario un sistema de agitación para que homogenice el electrolito y los iones se dispersen de tal manera que ayude a mejorar la deposición de los iones sobre las piezas.

Dado que el sistema de agitación se necesita en la cuba electrolítica, se añadirá un sistema de manivela para que se manipulada cada 5 min en un extremo del barril que contendrá las piezas para producir un movimiento rotativo que además de mover las piezas para mejorar el recubrimiento sobre las superficies de las piezas.

4.8.2.4. Filtrado

Para asegurar la calidad del baño y evitar las incrustaciones y rugosidades sobre las superficies de las piezas, se debe tener un electrolito libre de lodos, impurezas y otros químicos insolubles se debe tener un sistema de filtración para eliminar todas estas sustancias antes mencionadas.

Para ello se debe tener en cuenta en el diseño de las cubas un agujero en la parte inferior para facilitar el vaciado de estas y realizar el respectivo filtrado, teniendo en cuenta la porosidad del filtro para no dejar sueltas impurezas con micras inferiores a los poros del filtro, causando que la purificación de la solución sea incompleta.

Para Proceder con el filtrado se escogerá un filtro de cartuchos, estos son filtros con material poroso, siendo el escogido de tela, ya que pueden separar partículas pequeñas de la solución de interés a purificar, y su mayor resistencia, teniendo en cuenta que como desventajas poseen bajo nivel de velocidad. Estos están hechos de polipropileno que lo hace resistente a la corrosión, teniendo una escala de filtración de hasta 50 micras.

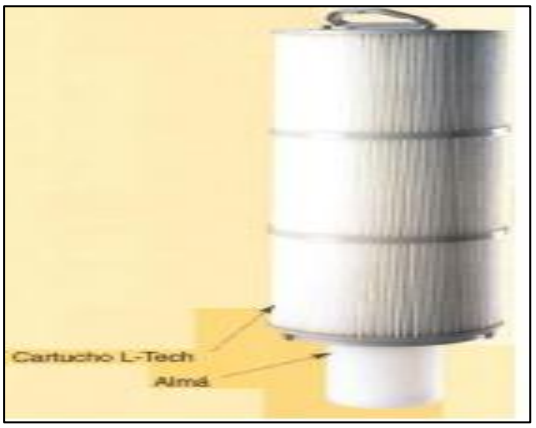


Figura 9-4. Filtro de cartuchos

Realizado por: (Flores J, 2021).

Entre los motivos de la selección de este filtro destacan su superficie filtrante que puede llegar hasta los 5 m2, la cantidad de veces que necesita ser limpiada es reducida y sus cartuchos son fáciles de reemplazar.

Tabla 11-4: Parámetros de limpieza según el baño

	Baños ácidos	**Baños alcalinos**
Velocidad de filtración	2 a 3 renovaciones por hora	3 a 5 renovaciones por hora
Superficie de filtración	0,6 a 1 m2 / 1000 L de baño	1 a 2 m2 / 1000 L de baño

Fuente: (Alcaraz, 2005).

Realizado por: (Flores J, 2021).

4.8.3. Cálculos del diseño

4.8.3.1. Selección del rectificador

Para la correcta selección del rectificador se debe saber cuál es la máxima cantidad de corriente que debe brindarnos esta máquina, para ello obtenemos el promedio de la densidad de corriente de la tabla 1-2.

$$\rho_{corriente} = \frac{5\left[\frac{A}{dm^2}\right] + 12\left[\frac{A}{dm^2}\right]}{2}$$

$$\rho_{corriente} = 8{,}5\left[\frac{A}{dm^2}\right]$$

Para obtener la intensidad de corriente necesaria, multiplicamos el área máxima a recubrir y multiplicamos por la densidad de corriente necesaria:

$$Intensidad = 8{,}5\left[\frac{A}{dm^2}\right] x\ 19\ x\ 10^{-2} dm^2$$

$$Intensidad = 8{,}5\left[\frac{A}{dm^2}\right] x\ 19\ x\ 10^{-2} dm^2$$

$$Intensidad = 1{,}61\ [A]$$

A pesar de que la intensidad de corriente necesaria no es alta, se elige un rectificador con fuente de 10 A, ya que existe mayor disponibilidad de estas en el mercado:

Figura 10-4. Rectificador NICE POWER WP-SPPS-S3010-White

Fuente: (Aliexpress, 2013).

Tabla 12-4: Características del rectificador

RECTIFICADOR NICE POWER	
MODELO	*WP-SPPS-S3010-White*
SALIDA DE POTENCIA	201 – 300 W
SALIDA DE CORRIENTE	0 – 10 A
FRECUENCIA	50 – 60 Hz
DIMENSIONES	170 mm x 252 mm x 84 mm

Fuente: (Aliexpress, 2013).

Realizado por: (Flores, J., 2021).

4.8.4. Dimensiones del Barril

El material escogido para el proceso es el PVC debido a sus propiedades físicas que lo hacen resistente a las diferentes condiciones del proceso de galvanizado y Tropicalizado.

Tabla 13-4: Características mecánicas del PVC

TENSION DE DISEÑO	100 kg/cm2
RESISTENCIA A LA TRACCION	450 a 550 Kg/cm2
RESISTENCIA A LA COMPRESION	610 kg/cm2
MODULO DE ELASTICIDAD	30.000 kg/cm2
RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO	Hasta 0,4 veces el diámetro sin roturas ni fisuras
ELONGACION HASTA LA ROTURA	15%

Realizado por: (Flores J, 2021).

Para el dimensionamiento del tambor que contendrá los accesorios automotrices a recubrir, se tomara como medida de referencias el perno grande, cuyo peso por unidad es de 26,943. Se busca recubrir 3712 pernos grandes por producción del proceso, es decir 100 kg.

Se obtuvo el volumen del perno grande utilizando el principio de Arquímedes para calcular el volumen de un cuerpo irregular, en este se explica que, al sumergir un cuerpo, el líquido desalojado es igual al volumen del cuerpo, con la ayuda de una probeta se obtuvo un volumen de 3,64 ml desplazados. Para saber el volumen necesario para contener 3712 pernos, se hace una relación de volúmenes de medición de capacidad de recipientes:

$$Cantidad\ de\ pernos = \frac{Volumen\ de\ la\ cuba}{Volumen\ del\ perno}$$

Como se desea saber el volumen de la cuba, despejamos de la ecuación:

$$Volumen\ de\ la\ cuba = Cantidad\ de\ pernos\ x\ Volumen\ del\ perno$$

Reemplazando datos tenemos:

$$Volumen\ de\ la\ cuba = 3712\ x\ 3{,}64\ cm^3$$
$$Volumen\ de\ la\ cuba = 13511{,}68\ cm^3$$

Transformando a m3:

$$13511{,}68\ cm^3 x \frac{1\ m^3}{(100cm)^3} = 0{,}1355\ m^3$$

Se requiere de un volumen de $0{,}1355\ m^3$para contener 3712 pernos grandes para galvanizar, sin embargo, los pernos solo van a ocupar la 1/3 parte del barril, ya que se requiere espacio para que las piezas, gracias al movimiento ejercido por la rotación del barril, puedan moverse para así tener mejor deposición de los iones sobre su superficie, por lo que el volumen total debe ser 3 veces el volumen calculado:

$$0{,}1355\ m^3 x\ 3 = 0{,}4065\ m^3$$

Como el volumen es de un barril, para obtener las dimensiones se utilizará la formula del volumen de un cilindro:

$$V_{cilindro} = \pi\ r^2 h$$

Cambiamos las variables de la formula (radio y altura) usando el método de iteración hasta llegar al volumen necesario y asimismo obtener las dimensiones del barril.
Obteniendo:

$$V_{cilindro} = \pi\ (0{,}36\ m)^2 (1m)$$
$$V_{cilindro} = 0{,}4071\ \ m^3$$

Siendo las dimensiones:

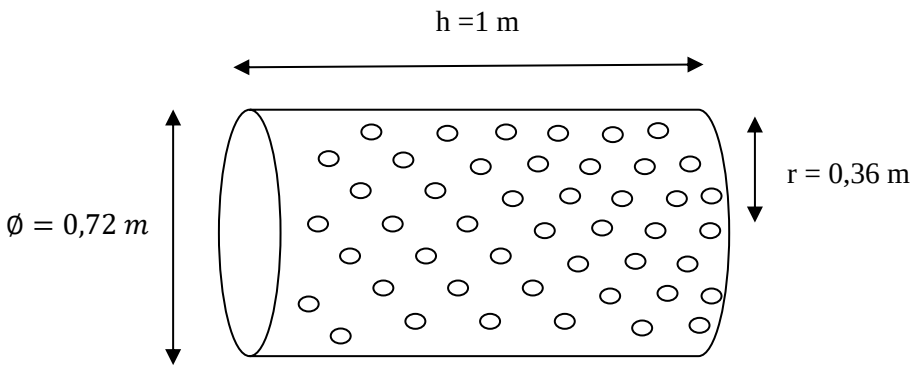


Figura 11-4. Barril de PVC para el baño electrolítico

Realizado por: (Flores J, 2021).

Siendo las dimensiones de:

$h = 1\ m$

$\emptyset = 0{,}72\ m$

Se debe tener en cuenta que el barril debe tener ranuras o huecos que permitan el paso del electrolito hacia las piezas que van a ser recubiertas. Desde el rectificador ira conectado un cable que servirá como contacto para que así llegue la electricidad al barril, y puedan viajar los iones correctamente sobre las superficies de los accesorios.

Para el sistema de movimiento se debe usar un motor y un sistema de engranajes de modo que reduzcan las revoluciones a tal punto que permita una rotación estable, permitiendo así mayor difusividad en el electrolito del baño.

Para que el proceso sea continuo en el mismo barril se necesitara del uso de poleas que este permite levantar el barril y pueda trasladarlo a cada una de las etapas del proceso que ya han sido explicados previamente.

4.8.5. Dimensiones de la cuba electrolítica

El material de la cuba escogida es el PVC, dado su resistencia al pH alcalino de la operación de galvanizado, se realizarán en base a las normas ASME para el correcto dimensionamiento de las cubas.

4.8.5.1. Volumen

Según ÁVILA BRITO y PAZMIÑO SALGADO (2017a, p.51), el volumen mínimo del electrolito a usar es de 12,618 L, y que por posibles derrames y fenómenos que hacen menos eficiente el proceso se debe utiliza un factor de seguridad de 2, Ayala et al. (2004, p.75) según dando un volumen de electrolito a usar de 25,236 L.

Transformando a m3:

$$25{,}236L\ x\ \frac{m^3}{1000L} = 0{,}025\ \ m^3\ de\ electrolito.$$

Se le añadirá a esto el volumen del barril para que así este quede completamente sumergido por el electrolito.

$$V_{electrolito} = 0{,}4071\ \ m^3 + 0{,}025\ m^3$$
$$V_{electrolito} = 0{,}4323\ \ m^3$$

4.8.5.2. Anchura

Según el ASME (2013), la sociedad americana de ingenieros mecánicos por sus siglas en ingles muestra la siguiente fórmula para obtener el ancho del diseño de un tanque según el volumen que este requiera:

$$ancho = \sqrt[3]{V}$$
$$ancho = \sqrt[3]{0{,}4323\ m}$$
$$ancho = \sqrt[3]{0{,}4323\ m}$$
$$ancho = 0{,}75\ m$$

Se debe tomar en cuenta la separación del barril con el ánodo, y asimismo se debe sumar la separación del ánodo con las paredes del tanque, se multiplicará esto por 2 debido a que son dos ánodos los que irán dentro del tanque, teniendo así:

$$ancho - final = 2(distancia_{anodo-catodo} + \ distancia_{anodo-pared})$$

Alcaraz (2005, p.117), menciona que los ánodos y el barril debe estar a 14 cm de distancia, y para evitar errores se dará una distancia entre el ánodo y la pared de 7 cm.

Por tanto, reemplazando:

$$ancho - final = 2(14\ cm + \ 7\ cm)$$
$$ancho - final = 42\ cm$$

Transformando a metros:

$$42\ cm\ x\ \frac{1\ m}{100\ cm} = 0{,}42\ m$$

Sumando:

$$Ancho_{total} = 0{,}75\ m + 0{,}42\ m$$
$$Ancho_{total} = 1{,}17\ m$$

4.8.5.3. Longitud

Según el ASME:

$$l = 1{,}5\ X\ ancho$$
$$l = 1{,}5\ x\ (0{,}75\ m)$$
$$l = 1{,}125\ m$$

4.8.5.4. Altura

Debido a que el diámetro del barril es de 0,72 m, la altura debe ser mayor a esta, por lo tanto, la altura del tanque será de 0,80 m.

4.8.5.5. Espesor

Según «Graham's Electroplating Engineering Handbook» (1985, p.517), explica que el espesor mínimo de una cuba electrolítica tiene que ser de $\frac{3}{16}\ in$, por tanto, ese será el espesor a tener en cuenta, que transformado a metros es 0,0047 m o 0,47 cm.

4.8.6. Concentraciones de la solución electrolítica

«Graham's Electroplating Engineering Handbook» (1985, p.520), explica que la solución alcalina sin cianuros debe contener las siguientes sustancias químicas con los siguientes estados y ÁVILA BRITO y

PAZMIÑO SALGADO (2017a, p. 57), muestra su gravedad especifica de cada una de las sustancias.

Tabla 14-4: Concentraciones de las sustancias en el electrolito

Sustancias	Estado de materia	Gravedad especifica
Hidróxido de sodio	Sólido, 50% en concentración.	2,13
Cloruro de Zinc	Solido	5,6
Make up ZSC	Líquido, 40%	1,062
Abrillantador ZSC	Líquido, 8%	1,028
Purificador ZSC	Líquido, 4%	1,266

Fuente: (ÁVILA BRITO y PAZMIÑO SALGADO, 2017a).

Realizado por: (Flores J, 2021).

Cabe recalcar que las sustancias tales como el make up y abrillantador ZSC son aditivos que permiten una mejor adherencia del galvanizado sobre la superficie metálica, para obtener resultados más estéticos y visiblemente mejorados. El purificador ZSC se agrega con anterioridad del proceso y al final del mismo, con el objetivo de que se acumulen los restos de cinc que no han sido adheridos sobre el metal, y que comienzan a disminuir la eficiencia del baño, con el purificador se facilita la tarea de mantenimiento del electrolito. En la parte experimental no se usó estos elementos debido a que no es necesario, ya que solo se desean recopilar datos que afecten sobre la adherencia del galvanizado y no en la parte estética del mismo.

4.8.7. Concentraciones de baño

Según ÁVILA BRITO y PAZMIÑO SALGADO (2017a, p.57), galvano indica que se debe colocar agua a un tercio del volumen total del tanque, para luego realizar la solución, entonces:

$$V_{w1} = V_{electrolito}\ x\ \frac{1}{3}$$

$$V_{w1} = 0{,}4323\ m^3\ x\ \frac{1}{3}$$

$$V_{w1} = 0{,}1441\ m^3$$

Para el hidróxido de sodio debe de existir 90 gr por cada litro de solución alcalina sin cianuros: Haciendo regla de tres simple, tenemos:

90 gr NaOH ⟶ 1 L

XgrNaOH ⟶ 432,3 L electrolito

$$X_{grNaOH} = \frac{90gr\ NaOH\ x\ 432{,}3\ L}{1\ L}$$

$$X_{grNaOH} = 38907gr\ NaOH$$

$$X_{grNaOH} = 38{,}90\ Kg\ NaOH$$

Utilizamos el mismo método para calcular la cantidad del resto de sustancias

- **$ZnCl_2$: son 12 gr por cada litro de solución alcalina sin cianuros (galvano):**

12 gr $ZnCl_2$ ⟶ 1 L

Xgr$ZnCl_2$ ⟶ 432,3 L electrolito

$$X_{grZnCl_2} = \frac{12gr\ ZnCl_2\ x\ 432{,}3\ L}{1\ L}$$

$$X_{grZnCl_2} = 5187{,}6\ gr\ ZnCl_2$$

$$X_{grZnCl_2} = 5{,}187\ Kg\ ZnCl_2$$

- **Make up ZSC: deben existir 40 ml en 1 L de solución:**

40 ml Make up ZSC ⟶ 1 L

Xml Make up ZSC ⟶ 432,3 L electrolito

$$X_{ml\text{Make up ZSC}} = \frac{40\text{ ml Make up ZSC}\ x\ 432{,}3\ L}{1\ L}$$

$$X_{ml\text{Make up ZSC}} = 17292\ ml$$

$$X_{ml\text{Make up ZSC}} = 17{,}292\ L$$

- **Brillo: debe existir 8 ml de Brillo ZSC en 1 L de solución:**

8 ml Brillo ZSC ⟶ 1 L

Xml Brillo ZSC ⟶ 432,3 L electrolito

$$X_{ml\ Brillo\ \text{ZSC}} = \frac{8\ \text{ml Brillo ZSC}\ x\ 432{,}3\ L}{1\ L}$$

$$X_{ml\ Brillo\ \text{ZSC}} = 3458{,}4\ ml$$

$$X_{ml\ Brillo\ \text{ZSC}} = 3{,}45\ L$$

- **Purificador ZSC: Debe existir 4 ml en 1 L de solución:**

4 ml Purificador ZSC ⟶ 1 L

Xml Purificador ZSC ⟶ 432,3 L electrolito

$$X_{ml\ Purificador\ \text{ZSC}} = \frac{4\ \text{ml Purificador ZSC}\ x\ 432{,}3\ L}{1\ L}$$

$$X_{ml\ Purificador\ \text{ZSC}} = 1729{,}2\ ml$$

$$X_{ml\ Purificador\ \text{ZSC}} = 1{,}729\ L$$

4.8.8. Densidad del electrolito

Según ÁVILA BRITO y PAZMIÑO SALGADO (2017a, p.59), se determina la densidad de la solución alcalina no cianurada partiendo de:

$$\rho_{\text{ZSC}} = \frac{\sum Mcompuestos}{\sum Vcompuestos}$$

- **Hidróxido de sodio (NaOH)**

$$\rho_{\text{NaOH}} = 2130\frac{Kg}{m^3}$$

$$V_{\text{NaOH}} = \frac{38{,}90\ Kg}{2130\ \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V_{\text{NaOH}} = 0{,}01826 m^3$$

$$V_{\text{NaOH}} = 18{,}26\ L$$

- **Cloruro de Zinc ($ZnCl_2$):**

$$\rho_{ZnCl_2} = 5600\frac{Kg}{m^3}$$

$$V_{ZnCl_2} = \frac{5{,}187\ Kg}{5600\ \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V_{ZnCl_2} = 9{,}2625x10^{-4} m^3$$

$$V_{ZnCl_2} = 0{,}9262\ L$$

- **Make Up ZSC**

$\rho_{\text{ZnO}} = 1062 \frac{Kg}{m^3}$

$$M_{\text{Make up}} = 0{,}01729\ m^3\ x\ 1062 \frac{Kg}{m^3}$$

$$M_{\text{Make up}} = 18{,}36\ Kg$$

- **Brillo ZSC**

$\rho_{\text{ZnO}} = 1062 \frac{Kg}{m^3}$

$$M_{\text{Brillo}} = 3{,}45x10^{-3}\ m^3\ x\ 1062 \frac{Kg}{m^3}$$

$$M_{\text{Brillo}} = 3{,}6639\ Kg$$

- **Purificador**

$\rho_{\text{ZnO}} = 1266 \frac{Kg}{m^3}$

$$M_{\text{purificador}} = 1{,}729x10^{-3}\ m^3\ x\ 1266 \frac{Kg}{m^3}$$

$$M_{\text{purificador}} = 2{,}18\ Kg$$

Se calcula la cantidad de agua restante de la solución:

$$V_{\text{w2}} = V_{\text{Electrolito}} - V_{\text{NaOh}} - V_{ZnCl_2} - V_{\text{MakeUp}} - V_{\text{Brillo}} - V_{\text{Purificador}} - V_{\text{w1}}$$

$$V_{\text{w2}} = 0{,}4323\ m^3 - 2{,}43x10^{-3} m^3 - 9{,}2625x10^{-4} m^3 - 0{,}01729\ m^3 - 3{,}45x10^{-3}\ m^3 - 1{,}729x10^{-3}\ m^3 - 0{,}1441\ m^3$$

$$V_{\text{w2}} = 0{,}2623\ m^3$$

Volumen de agua total:

$$V_{\mathrm{wT}} = V_{\mathrm{w1}} + V_{\mathrm{w2}}$$
$$V_{\mathrm{wT}} = 0{,}2623\ m^3 + 0{,}1441\ m^3$$
$$V_{\mathrm{wT}} = 0{,}4064\ m^3$$

La densidad del agua a 20 °C es

$$\rho_{\mathrm{H2O}} = 998\frac{Kg}{m^3}$$

Obtenemos la masa del agua:

$$M_{\mathrm{W}} = 0{,}4064\ m^3 x\ \ 998\frac{Kg}{m^3}$$
$$M_{\mathrm{W}} = 405{,}58\ Kg$$

Obtenemos la densidad del electrolito:

$$\rho_{\mathrm{ZSC}} = \frac{\sum Mcompuestos}{\sum Vcompuestos}$$

$$\rho_{\mathrm{ZSC}} = \frac{405{,}58\ Kg + 2{,}18\ Kg + 3{,}6639\ Kg + 18{,}36\ Kg + 5{,}187\ Kg + 38{,}90\ \ Kg}{0{,}4064\ m^3 + 1{,}729x10^{-3}\ m^3 + 3{,}45x10^{-3}\ m^3 + 0{,}01729\ m^3 + 9{,}2625x10^{-4}m^3 + 2{,}43x10^{-3}m^3}$$

$$\rho_{\mathrm{ZSC}} = 1096\frac{Kg}{m^3}$$

4.8.9. Tubo base

Los electrolitos y soluciones deben de tener en la base de las cubas un agujero que tendrá como utilidad el drenaje para hacerlo pasar por los filtros y volverlos a redireccionar hacia el tanque, este ciclo se repetirá de 3 a 5 ocasiones como se especifica en la tabla 9-4 ya que esta es una solución alcalina.

Para realizar el acabado se necesitarán de:

- Un adaptador tanque PVC 2”
- Una manguera PVC 2”
- Una válvula mariposa PVC 2”

Mismas que una vez realizada las respectivas conexiones irán conectadas al filtro de cartuchos para que realice las purificaciones de las sustancias de todos los procesos.

4.8.10. Diagrama del diseño

Para el diseño del proceso, se tomarán en cuenta los siguientes puntos:

- Todas las cubas tendrán las mismas dimensiones calculadas para la cuba electrolítica.
- En todas las cubas tendremos tubos bases para facilitar el vaciado y tratamiento de las cubas con sus respectivas sustancias.

4.8.10.1. Diagrama de las cubas

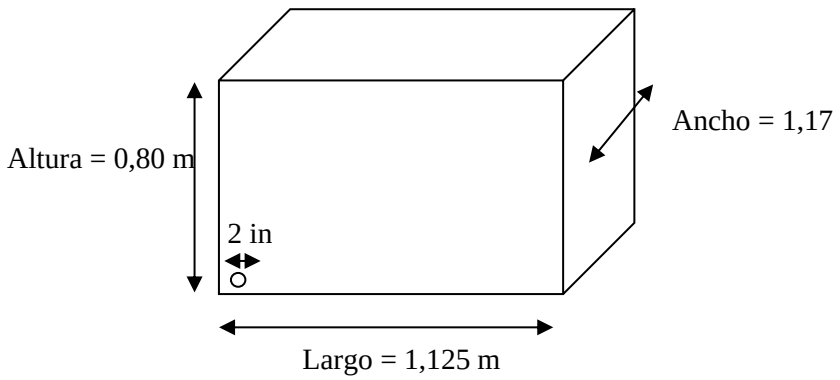


Figura 12-4. Dimensiones de las cubas, vista alzado frontal

Realizado por: (Flores J, 2021).

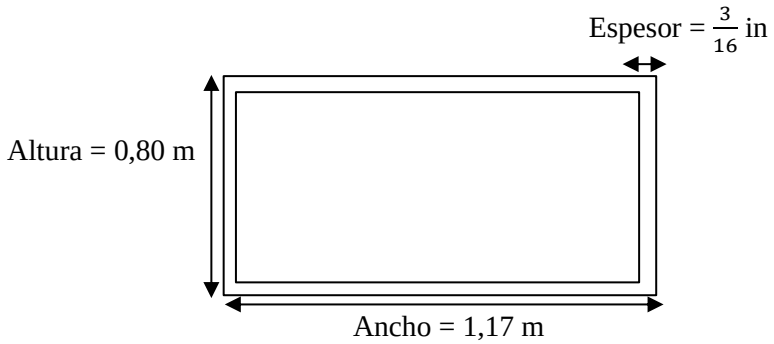


Figura 13-4. Dimensiones de las cubas, vista perfil izquierdo

Realizado por: (Flores J, 2021).

4.8.11. Diagrama de tanques para galvanizado

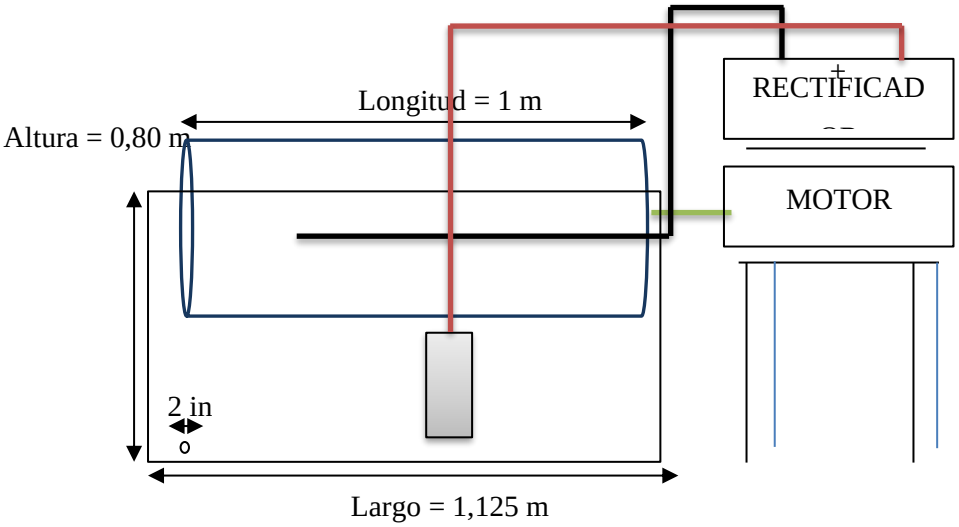


Figura 14-4. Dimensiones de la cuba electrolítica, vista alzada

Realizado por: (Flores J, 2021).

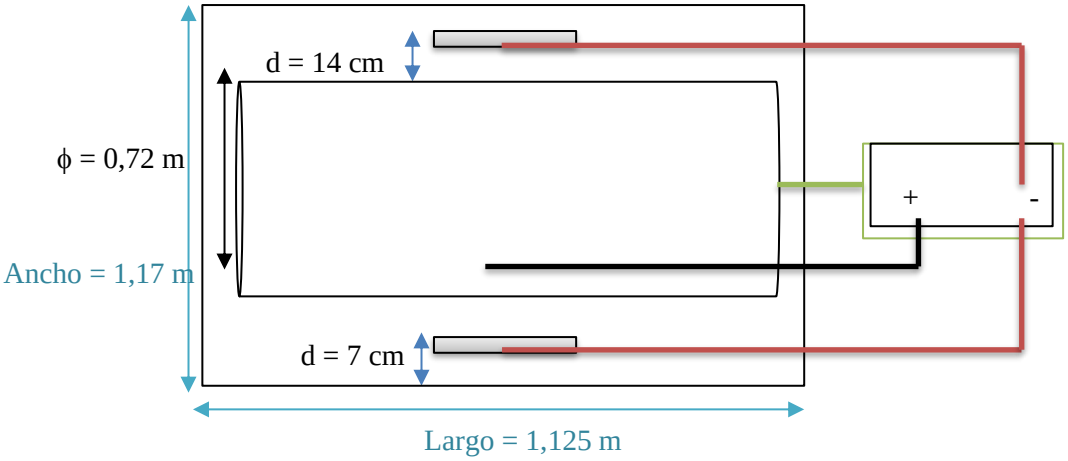


Figura 15-4. Dimensiones de la cuba electrolítica, vista superior

Realizado por: (Flores J, 2021).

Las distancias entre el barril y los ánodos deben de ser de 14 cm, y asimismo de la pared al ánodo de 7 cm como se especificó en el punto 4.8.3.5.

4.8.12. Diagrama del proceso

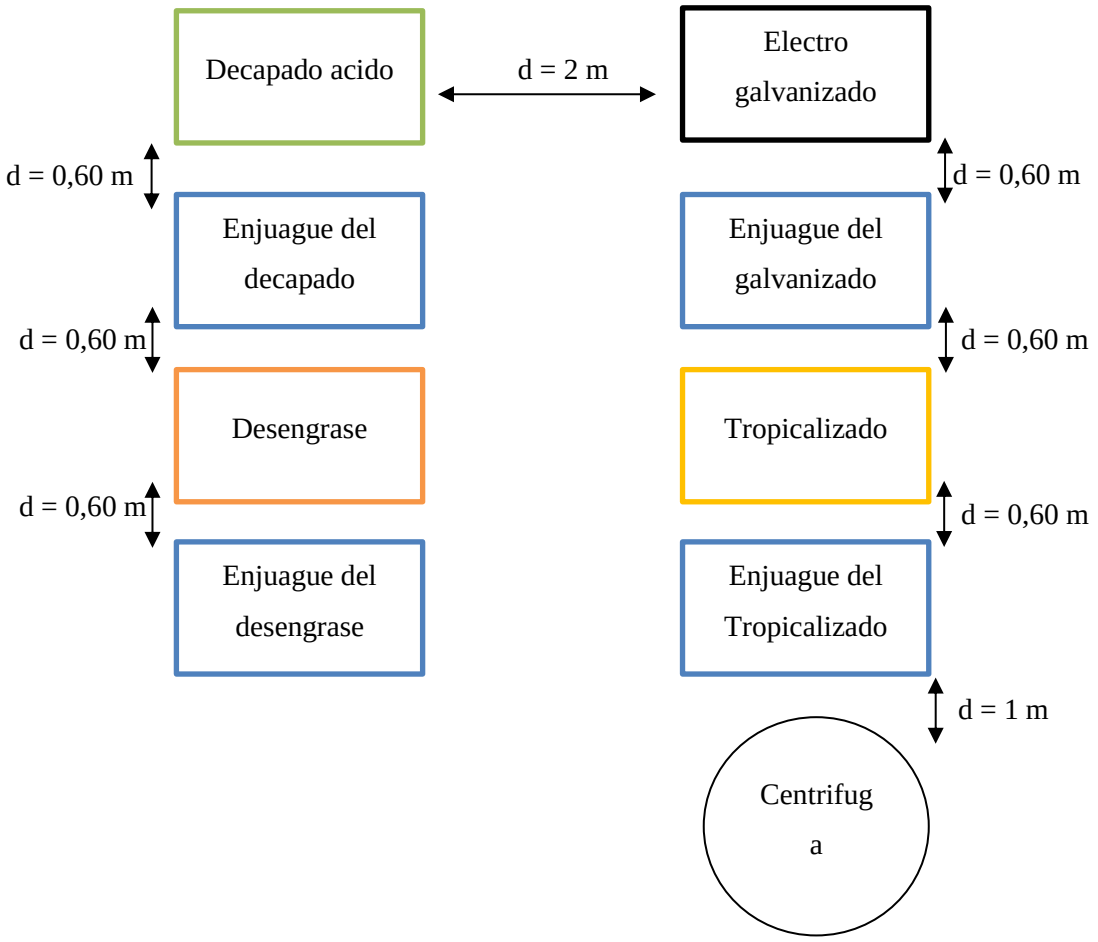


Figura 16-4. Diseño del proceso

Realizado por: (Flores J, 2021).

En cada etapa del proceso se requiere tener un espacio mínimo entre cada etapa, para asegurarnos que no se produzcan accidentes o salpicaduras a otras etapas que contengan diferentes soluciones en ellas, asimismo entre las etapas se dejara un espacio de 2 metros para que los operarios puedan transportarse de proceso en proceso y puedan vigilar el mismo sin riesgos de por medio.

4.8.13. Análisis económico

Para el análisis económico se basará en los precios disponibles en el mercado para la inversión inicial y las ganancias esperadas a recibir por mes.

Tabla 15-4: Costos de Infraestructura

Detalle	Valor
Cuba electrolítica	$500,00
Barril PVC	$335,00
Rectificador Nice power wp-spps-white	$150,00
Motor eléctrico monofásico 220 V	$370,00
TOTAL	**$1355,00**

Realizado por: (Flores J, 2021).

Tabla 16-4: Costos de sustancias

Detalle	Valor por kg/l	Cantidad necesaria	Valor total
Hidroxido de sodio	$6,00	38.90 Kg	$234,00
Cloruro de Zinc	$4,00	5.18 kg	$21,00
Make up ZSC	$5,00	17 L	$85,00
Abrillantador ZSC	$7,00	3.45 L	$24,15
Purificador ZSC	$3,50	1.72 L	$6,02
		TOTAL	**$370,00**

Realizado por: (Flores J, 2021).

Se tienen un total de inversión de 1725 dólares americanos.

Por línea de producción se ha calculado una duración de 2 h y 58 min, en lo que el producto entra y sale listo para su entrega, teniendo en cuenta 8 horas diarias de trabajo se puede producir hasta 3 veces pernos galvanizados y tropicalizado, teniendo en cuenta que se puede hacer 3712 pernos, dando un total de 11136 pernos diarios, por lo tanto, se producirían 167040 pernos galvanizados y tropicalizados mensuales, la cuota por cada 100 kg es de $35, teniéndose así una ganancia estimada de $1575,00 mensuales.

CONCLUSIONES

- Mediante la revisión bibliográfica se determinaron los métodos existentes para diseñar plantas galvánicas y tropicalizadoras, en ellas se determinó que debido al tamaño de los accesorios con los que se desea trabajar, es necesario aplicar el método de barrel planting, el cual consiste en la construcción de un barril de PVC con agujeros alrededor de su cuerpo, el mismo que está conectado por cable o barrillas de cobre atravesados para lograr su conexión, este logra contener los accesorios a galvanizar, y permite producir en grandes cantidades.
- Las variables óptimas para desarrollar un baño electrolítico alcalino no cianurado son de temperaturas de entre 18 y 22 C, un pH de 14 y una intensidad mínima de corriente de 5 amperios, la temperatura puede estar entre esos límites, sin embargo, no pueden salirse de los mismos ya que puede afectar a su cinética molecular, por ende, al resultado final del galvanizado.
- Las variables óptimas para desarrollar el tropicalizado son de una temperatura de entre, 20 C con un pH de 4 y un numero de inmersiones mínimas de 7.
- Se obtuvieron las dimensiones de las cubas mediante las normas ASME, con lo que se determinó que las dimensiones para todas las cubas serian: 1,125 x 1,17 x 0,80 m, y un espesor de 0,47 que según Durney Graham es el espesor mínimo que debe de tener las cubas.
- Se diseñó la planta con su respectivo proceso mediante las variables obtenidas, determinándose que el piso debe ser construido con cemento, añadiendo a esto un epóxido llamado floropoxy, el cual le brinda protección y resistencia contra sustancias corrosivas tales como el ácido, mismos que sin el debido recubrimiento pueden causar daños materiales.
- Se revisaron las normas NTE INEN 951:2013 RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS. REQUISITOS GENERALES, ESPESORES Y ABREVIATURAS y NTE INEN 1189:2013 (RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ENSAYO DE TROPICALIZACIÓN) y se siguió el procedimiento establecido en las mismas para corroborar que el recubrimiento cumple con los requerimientos mínimos establecidos, logrando obtener un resultado positivo al no haber mostrado señales de oxidación durante el proceso.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los implementos de seguridad en todo momento, para evitar potenciales accidentes por la manipulación de químicos, teniendo mayor importancia el del decapado acido.
- El nivel de pureza de las sustancias utilizadas es importante y repercute en el resultado final, por lo que es importante estar pendiente de que no haya impurezas en las mismas.
- Se deben realizar mantenimientos en el electrolito, cuidando que se conserven las mismas cantidades de las sustancias que lo componen que han sido indicadas en el trabajo.
- Usar ropa aislante para evitar accidentes eléctricos en la etapa de electro galvanizado, ya que puede haber riesgo de contacto.
- A pesar de que aumentando la intensidad de corriente aumenta la velocidad de deposición, se debe tener en cuenta que la velocidad del proceso aumentaría, por lo que podría ocasionar congestión en el resto del proceso, y también causar más gastos por consumo de luz, es recomendable trabajar con 6 Amperes, dado que el tiempo promedio es de 60 minutos hasta que finalice el proceso de galvanizado.
- El abrillantador y purificador de cinc se adhieren al final de cada jornada para que se remuevan las impurezas del baño electrolito y no reduzca su eficiencia.
- No es recomendable realizar galvanizado a una pieza que será soldada, ya que no va a responder de la mejor manera por el recubrimiento dado.
- Se recomienda automatizar al proceso para disminuir costos de producción en operarios y hacer más eficiente el trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS, E.Y. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 951 : 2013 Primera revisión RECUBRIMIENTOS Primera edición. ,2013.

ALCARAZ, T. Metodos Galvánicos en la industria. , 2005. vol. 148, pp. 148-162.

ALIEXPRESS. Lab fuente de alimentación regulada con función de memoria de alta precisión, suministros de energía regulables, 30V, 10A, 60V, 5A, 120V, 3A, CC|Fuente de alimentación de conmutación| - AliExpress. [en línea]. [Consulta: 15 septiembre 2021]. 2013. Recuperado de: https://es.aliexpress.com/item/1005003025192223.html?spm=a2g0o.detail.1000014.1.11006f13feRI0y&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.33416.213724.0&scm_id=1007.33416.213724.0&scm-url=1007.33416.213724.0&pvid=f13306b2-2891-4c14-977e-b847325098cd&_t.

ANALOGY, T.H.E.D.R.Y. y LAW, F.S. Electrochemical mechanisms 2.1. , 2015. pp. 9-19.

ANNA, N. Sulzer comments on corrosion and erosion | World Pipelines. [en línea]. [Consulta: 19 marzo 2021]. 2017. Recuperado de: https://www.worldpipelines.com/business-news/13012017/sulzer-comments-on-corrosion-and-erosion/.

ASME. Código ASME para Calderas. 2013. pp. 24.

ÁVILA BRITO, J.E. y PAZMIÑO SALGADO, D.A. Departamento de ciencias de la energía y mecánica. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, 2017b. vol. 1, pp. 1-202.

ÁVILA BRITO, J.E. y PAZMIÑO SALGADO, D.A. Departamento de ciencias de la energía y mecánica. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE* [en línea], 2017b. vol. 1, pp. 1-202. Recuperado de: http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13628.

AYALA SÁNCHEZ. Diseño y construcción de una celda para pulido y ataque electrolítico en muestras metalográficas. , 2004. pp. 1-194.

CONSHOHOCKEN, W. y TERMS, H.T. Tables Helpful to the Metallographer List of ASTM standards that pertain to ferrous metallography. 2011.

CREATIVOS, T.-S. Cubas en material plástico anticorrosivo para procesos galvánicos y otras

aplicaciones. ,2017.

ECCA. The Basics of Corrosion Technical paper Contents Introduction. ,2011.

EMILIJA RANDJELOVIC. Proceso De La Electrólisis Del Agua Con El ánodo Y El Cátodo En Poder Del Agua Y De Batería Stock de ilustración - Ilustración de electrodo, potencia: 132974978. [en línea]. [Consulta: 9 junio 2021]. 2002. Recuperado de: https://es.dreamstime.com/proceso-de-la-electrólisis-del-agua-con-el-ánodo-y-cátodo-en-poder-batería-image132974978.

FLOROCK. Excellence in Polymer Flooring. [en línea]. [Consulta: 24 febrero 2022]. 2021. Recuperado de: www.florock.net.

GHAREGHASHI, A. y MOHEBBI, A. Anode Materials for Zinc-Air Batteries. , 2006. pp. 103-130.

GÓMEZ, et al. CORROSIÓN (Ingeniería Química) TIPOS DE CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA. . 2014.

GRAHAM'S ELECTROPLATING ENGINEERING HANDBOOK. *Electroplanting engineering handbook* [en línea], 1985. [Consulta: 15 septiembre 2021]. Recuperado de: https://books.google.com.ec/books?id=cA2PAX6GQzkC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

HAN, et al. Effects of electropolishing on corrosion and stress corrosion cracking of Alloy 182 in high temperature water. *Corrosion Science*, 2017. vol. 121, pp. 1-10. ISSN 0010938X. DOI 10.1016/j.corsci.2017.03.004.

HARKIN Michael. Understanding the Danger of Pitting Corrosion - Maintenance & Operations Coverage. [en línea]. [Consulta: 19 marzo 2021]. 2018. Recuperado de: https://www.facilitiesnet.com/maintenanceoperations/contributed/Understanding-the-Danger-of-Pitting-Corrosion--40460.

HOU, et al. ARTICLE The cost of corrosion in China. [en línea], 2017. vol. 1, pp. 4. [Consulta: 24 enero 2022]. DOI 10.1038/s41529-017-0005-2. Recuperado de: www.nature.com/npjmatdeg.

KIM, L., et al. Structural and dielectric properties of BaTiO3/SrTiO3 artificial superlattice on

MgO and SrTiO3 single crystal substrates. *Integrated Ferroelectrics*, 2002. vol. 50, pp. 219-228. ISSN 16078489. DOI 10.1080/743817666.

LABCYP. Comportamiento frente a la corrosión de aleaciones metálicas – Labcyp. [en línea]. [Consulta: 18 marzo 2021]. 2020.Recuperado de: https://labcyp.com/lineas-de-investigacion/comportamiento-frente-a-la-corrosion-de-aleaciones-metalicas/.

LEÓN., D.F.M. y PUEBLA., E.G.V. Escuela politecnica del ejercito sede latacunga. 2006.

LI SHUAI, et al. (PDF) Effect of repetitious non-isothermal heat treatment on corrosion behavior of Al-Zn-Mg alloy. [en línea]. [Consulta: 19 marzo 2021]. 2017. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/321691088_Effect_of_repetitious_non-isothermal_heat_treatment_on_corrosion_behavior_of_Al-Zn-Mg_alloy.

LÓPEZ, C.A. Vista de Análisis de falla por corrosión bajo tensión en la tubería de un intercambiador de calor. [en línea]. [Consulta: 3 junio 2021]. 2016. Recuperado de: https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/339/315.

MGDUFF. Ánodo de protección de zinc - ZD60 - MGDUFF INTERNATIONAL LTD - para barco. [en línea]. [Consulta: 9 junio 2021]. 2013. Recuperado de: https://www.nauticexpo.es/prod/mgduff-international-ltd/product-25367-237558.html.

MUÑOZ PORTERO, M.J. Características y usos de los diagramas de Pourbaix. *Universitat Politècnica de València* [en línea], 2011. pp. 5. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10251/13708.

NTE, I. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1189 : 2013*. 2013. S.l.: s.n.

PEIRÓ LUIS. Stainless steel corrosion. [en línea]. [Consulta: 18 marzo 2021]. 2015. Recuperado de: https://www.cedinox.es/en/actividades/highlighted/detail-highlighted/Stainless-steel-corrosion/.

PEREZ, J., HIGUERA, O. Analisis termodinamico de especies cianuradas de oro, plata y cobre sometidas a cementacion con zinc y aluminio. *Scientia et technica*, 2008. pp. 155-159. DOI 01

PEREZ PASCUAL. Corrosión química (oxidación). [en línea]. [Consulta: 18 marzo 2021]. 2015. Recuperado de: http://glosario.ldr.webs.upv.es/postout/2338/corrosin-qumica-oxidacin.

REYES-CRUZ, J.L., et al. Efecto de la implosión de burbujas sobre el desgaste por cavitación de bombas centrífugas que trasiegan fluidos amoniacales. *Minería y Geología*, 2019. vol. 35, no. 3, pp. 327-337. ISSN 1993-8012.

ROBINSON, R. A. STOKES, R.H. 13 the 'strong' acids. *Dover Publications*, 2002. pp. 370. DOI 978-0-486-42225-1.

ROBINSON, R. A. STOKES, R.H. *Electrolyte Solutions* [en línea]. 2012. ISBN 978-0-486-42225-1. Recuperado de: https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpESRE0007/electrolyte-solutions/electrolyte-solutions.

SALAZAR-JIMÉNEZ, J.A. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Revista Tecnología en Marcha*, 2015. vol. 28, no. 3, pp. 127. ISSN 0379-3982. DOI 10.18845/tm.v28i3.2417.

SALAZAR, J. Corrosión galvánica sobre una placa de acero (ánodo) en contacto con... | Download Scientific Diagram. [en línea]. [Consulta: 18 marzo 2021]. 2015. Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Corrosion-galvanica-sobre-una-placa-de-acero-anodo-en-contacto-con-unos_fig2_283699824.

STRESS CORROSION CRACKING (1/4). [Consulta: 18 marzo 2021]. 2012. Recuperado de: https://faculty.kfupm.edu.sa/ME/hussaini/Corrosion Engineering/04.06.01.htm.

TÉCNICO, A. ÍNDICE 5. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN 5.1 ¿Qué es la corrosión? [en línea], [Consulta: 15 febrero 2022]. 2015. Recuperado de: www.dexterfasteners.com.

BILMES, D.U. y MANUEL, J. ANÁLISIS DE FALLA POR CORROSIÓN-FATIGA. . 2012.

VIANEY, I.I.Z.R. ALCALINO NO-CIANURADO Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. 2003, pp. 2-3.

LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE

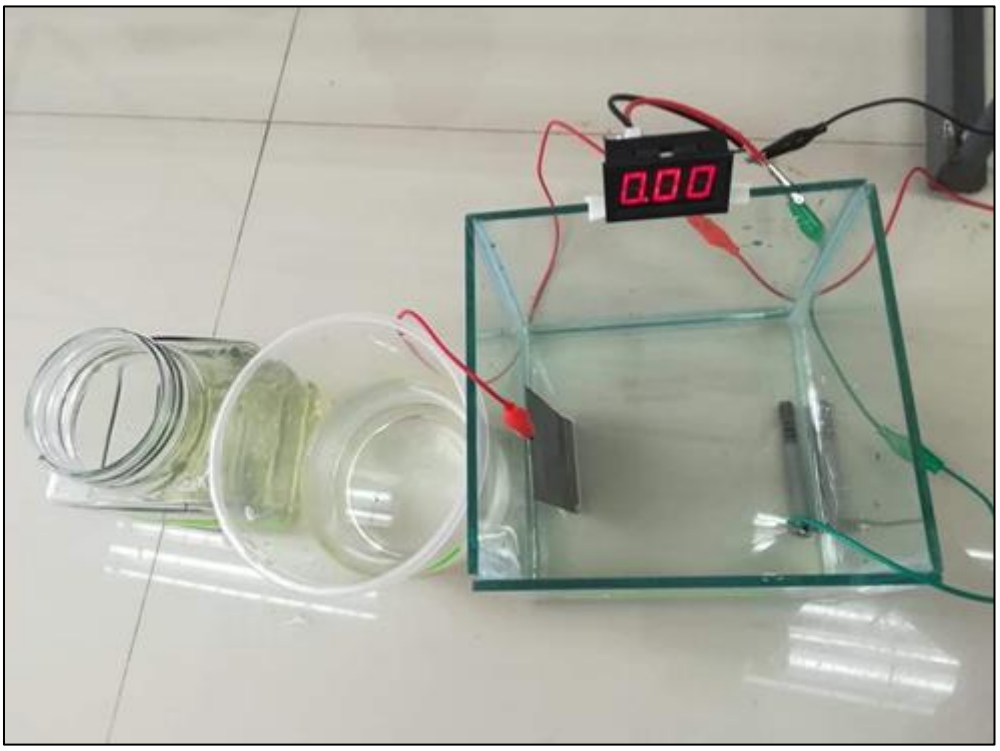
Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO, serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.07.01 18:13:31 -05'00'

ANEXOS

ANEXO A. CONSTANTES ELECTROQUÍMICAS DE LOS METALES

MATERIAL	PESO ATOMICO	PESO ESPECIFICO (kp/m3)	SIMBOLO	EQUIVALENTE QUIMICO	Gr / Amp – h depositados con un n del 100%
Cobre	63,6	8,93	Cu	63,60	2,37160
Oro	197,2	19,30	Au	197,20	7,35690
Plata	107,9	10,50	Ag	107,90	4,02740
Cadmio	112,4	8,65	Cd	56,20	2,09680
Cobalto	58,9	8,90	Co	29,50	1,00940
Hierro	55,8	7,90	Fe	27,90	1,04200
Plomo	207,2	11,35	Pb	103,60	3,86540
Níquel	58,7	8,90	Ni	29,30	1,09480
Estaño	118,7	7,30	Sn	59,40	2,21420
Zinc	65,4	7,14	Zn	32,70	1,22100
Rodio	102,9	12,40	Rh	34,30	1,27970
Cromo	52,0	7,10	Cr	8,76	0,32340

ANEXO B. PREPARACIÓN DEL PROTOTIPO DE ELECTROGALVANIZADO



ANEXO C. PREPARACIÓN DEL ELECTROLITO

ANEXO D. DECAPADO Y ENJUAGUE ÁCIDO

ANEXO E. RESULTADO DEL GALVANIZADO EN LAS PIEZAS DE INTERES

ANEXO F. RESULTADO DEL TROPICALIZADO

espoch | Dirección de Bibliotecas y Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Jordan Hernan Flores Lozano
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS DBRA ESPOCH

1198-DBRA-UTP-2022

Firmado electrónicamente por:
LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE