

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN MANUFACTURA

COHORTE 2019

TEMA:

“TECNOLOGÍA DEL GALVANIZADO ELECTROLÍTICO EN SUPERFICIES INTERIORES DE PIEZAS MECANIZADAS EN TORNOS CNC EN LA EMPRESA IMPOFREICO S.A”

Trabajo de titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención
Manufactura

Autor: Ing. Carlos Fernando Andrade Icaza

Director: Ing. Mario Alcides Lara Núñez, Mg

Ambato- Ecuador

Enero - 2021

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y
Mecánica**

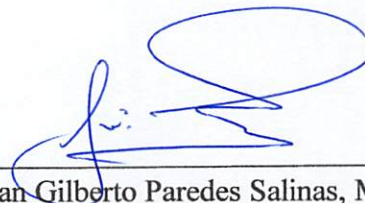
El tribunal receptor del Trabajo de Titulación precedido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg., Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “TECNOLOGÍA DEL GALVANIZADO ELECTROLÍTICO EN SUPERFICIES INTERIORES DE PIEZAS MECANIZADAS EN TORNOS CNC EN LA EMPRESA IMPOFREICO S.A” elaborado y presentado por el señor: Ing. Carlos Fernando Andrade Icaza, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica con mención en Manufactura; una vez escuchada la defensa oral del trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.
Presidente del Tribunal



Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.
Miembro del Tribunal




Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Tecnología Del Galvanizado Electrolítico En Superficies Interiores De Piezas Mecanizadas En Tornos Cnc En La Empresa Impofreico S.A”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Carlos Fernando Andrade Icaza, Autor bajo la Dirección de Ing. Mario Alcides Lara Núñez, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Carlos Fernando Andrade Icaza
C.I.1803889649
AUTOR



Ing. Mario Alcides Lara Núñez, Mg.
C.I. 1801751981
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Carlos Fernando Andrade Icaza

C.I. 1803889649

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

TEMA:	i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánicaii	
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
EXECUTIVE ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Problema.....	4
1.4 Preguntas Directrices.....	4
1.5 Objeto	4
1.6 Objetivos	4
1.6.1 Objetivo General	4
1.6.2 Objetivos Específicos.....	4
1.7 Campo	5
1.8 Hipótesis	5
1.9 Señalamiento de Variables	5
1.9.1 Variable Independiente	5
1.9.2 Variables dependientes.....	5
1.9.3 Termino de Relación	5
1.10 Fundamentación Teórica	5
1.10.1 Fenómeno de corrosión atmosférica en metales	5

1.10.2	Recubrimientos anticorrosivos.....	7
1.10.3	Celdas Electroquímicas.....	8
1.10.4	Potencial del electrodo en celdas electroquímicas.....	10
1.10.5	Leyes de Faraday.....	12
1.10.6	Electrodeposición.....	14
1.10.7	Incorporación del Zn en el cátodo.....	18
1.10.8	Generalidades del recubrimiento anticorrosivo de Zinc en Acero.....	23
1.10.9	Tiempo de Inmersión.....	24
1.10.10	Celda de Hull.....	25
1.10.11	Corrosión acelerada.....	27
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....		30
2.1	Materiales y Equipos.....	30
2.1.1	Materiales.....	30
2.1.2	Equipos.....	33
2.2	Métodos.....	36
2.2.1	Modalidad de investigación.....	36
2.2.2	Nivel de investigación.....	37
2.3	Población y Muestra.....	37
2.3.1	Población.....	37
2.3.2	Muestra.....	37
2.4	Operacionalización de Variables.....	39
2.4.1	Variable dependiente.....	39
2.4.2	Variable Independiente.....	40
2.5	Recolección de la información.....	41
2.6	Procesamiento y análisis.....	42
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		44
3.1	Análisis e interpretación de resultados.....	44

3.1.1	Obtención de acoples maquinados en CNC	45
3.1.2	Proceso de dosificación del electrolito.....	45
3.1.3	Proceso de limpieza de piezas salida del CNC	46
3.1.4	Decapado de las muestras	47
3.1.5	Galvanizado electrolítico de Zinc sobre Acero.....	47
3.1.6	Resumen clasificación de apariencia y protección INEN.....	49
3.1.7	Estructura de experimentación.....	50
3.1.8	Datos obtenidos de la experimentación.....	51
3.1.9	Promedios de indicadores de apariencia, protección y razón de corrosión.	75
3.1.10	Diseño factorial 2 ³	76
3.2	Verificación de hipótesis	77
3.2.1	Planteamiento de hipótesis nula y alternativa	77
3.2.2	Incidencia de los factores de experimentación.....	77
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
4.1	Conclusiones	80
4.2	Recomendaciones	80
CAPÍTULO V.- DESARROLLO DE PROPUESTA		82
5.1	Descripción.....	82
5.2	Antecedentes de la propuesta	82
5.3	Justificación.....	82
5.4	Objetivos	83
5.4.1	Objetivo General	83
5.4.2	Objetivos Específicos.....	83
5.5	Análisis de Factibilidad	83
5.6	Fundamentación	84
5.7	Niveles óptimos de electrolito y condiciones de trabajo.....	84
5.8	Metodología.....	84

5.9	Matriz de hoja de ruta del proceso de galvanizado para operario	86
5.10	Amperaje para galvanizado de diferentes productos.....	88
5.11	Croquis de disposición del espacio	89
5.12	Análisis de inversión	90
5.13	Conclusiones	91
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
	ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de las celdas electroquímicas.	9
Tabla 2 Características y composición de los baños de zinc ácidos, exentos del ion amonio.	16
Tabla 3 Composición y condiciones de trabajo de los baños cianurados.	17
Tabla 4 Composición y condiciones de trabajo del zinc sin cianuro.	18
Tabla 5 Espesores mínimos según su lugar de servicio.	24
Tabla 6 Razón de corrosión según el lugar de servicio.	24
Tabla 7 Propiedades Mecánicas y Químicas AISI 12L14.	30
Tabla 8 Composición Química Zinc.	32
Tabla 9 Matriz de pasos de procesamiento y análisis de datos.	42
Tabla 10 Parámetros de trabajo y electrolito.	45
Tabla 11 Clasificación de la protección Rp y de apariencia Ra.	49
Tabla 12 Tipos de deterioros del recubrimiento	49
Tabla 13 Estructura de experimentos.	50
Tabla 14 Estructura experimental para desarrollo ANOVA.	50
Tabla 15 Valores Ra y Rp del Experimento 1.	51
Tabla 16 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 1.	51
Tabla 17 Valores Ra y Rp del Experimento 2.	52
Tabla 18 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 2.	52
Tabla 19 Valores Ra y Rp del Experimento 3.	53
Tabla 20 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 3.	53
Tabla 21 Valores Ra y Rp del Experimento 4.	54
Tabla 22 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 4.	54
Tabla 23 Valores Ra y Rp del Experimento 5.	55
Tabla 24 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 5.	55
Tabla 25 Valores Ra y Rp del Experimento 6.	56
Tabla 26 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 6.	56
Tabla 27 Valores Ra y Rp del Experimento 7.	57
Tabla 28 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 7.	57
Tabla 29 Valores Ra y Rp del Experimento 8.	58
Tabla 30 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 8.	58
Tabla 31 Valores Ra y Rp del Experimento 9.	59

Tabla 32 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 9.	59
Tabla 33 Valores Ra y Rp del Experimento 10.	60
Tabla 34 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 10.	60
Tabla 35 Valores Ra y Rp del Experimento 11.	61
Tabla 36 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 11.	61
Tabla 37 Valores Ra y Rp del Experimento 12.	62
Tabla 38 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 12.	62
Tabla 39 Valores Ra y Rp del Experimento 13.	63
Tabla 40 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 13.	63
Tabla 41 Valores Ra y Rp del Experimento 14.	64
Tabla 42 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 14.	64
Tabla 43 Valores Ra y Rp del Experimento 15.	65
Tabla 44 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 15.	65
Tabla 45 Valores Ra y Rp del Experimento 16.	66
Tabla 46 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 16.	66
Tabla 47 Valores Ra y Rp del Experimento 17.	67
Tabla 48 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 17.	67
Tabla 49 Valores Ra y Rp del Experimento 18.	68
Tabla 50 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 18.	68
Tabla 51 Valores Ra y Rp del Experimento 19.	69
Tabla 52 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 19.	69
Tabla 53 Valores Ra y Rp del Experimento 20.	70
Tabla 54 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 20.	70
Tabla 55 Valores Ra y Rp del Experimento 21.	71
Tabla 56 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 21.	71
Tabla 57 Valores Ra y Rp del Experimento 22.	72
Tabla 58 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 22.	72
Tabla 59 Valores Ra y Rp del Experimento 23.	73
Tabla 60 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 23.	73
Tabla 61 Valores Ra y Rp del Experimento 24.	74
Tabla 62 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 24.	74
Tabla 63 Matriz de pesos y razón de corrosión	75
Tabla 64 Matriz de Experimentación y Respuesta.	76

Tabla 65 Análisis de Varianza ANOVA Minitab 19.0.....	77
Tabla 66 Mezcla de químicos para el e baño ácido.....	84
Tabla 67 Hoja de ruta del proceso de galvanizado electrolítico para la empresa Impofreico.....	86
Tabla 68 Matriz de amperajes óptimos para diferentes productos.....	88
Tabla 69 Costo Inicial de Inversión.....	90
Tabla 70 Análisis VAN, TIR y IRR.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema Corrosión del Hierro.	6
Figura 2 Esquema de celdas electroquímicas	6
Figura 3 Celda Galvánica, Celda Electrolítica, Celda de Concentración	9
Figura 4 Esquema de proceso para determinar el potencial estándar de un metal M a partir del potencial estándar de hidrogeno	10
Figura 5 Potencial estándar de electrodos a 25°C.....	11
Figura 6 Celda electroquímica de Fe y Zn.....	12
Figura 7 Esquema de elementos para electrolisis	14
Figura 8 Eficacia de los baños electrolíticos de zinc	15
Figura 9 Proceso de incorporación de una partícula sólida en un deposito metálico 1)Transporte por Convección 2)Transporte por difusión 3)Reacción de reducción 4)Absorción.....	19
Figura 10 Esquema general de transporte de iones en la electrodeposición.....	20
Figura 11 Ejemplo de reposicionamiento del ánodo.....	20
Figura 12 Ejemplo de ánodos auxiliares a)sin ánodos auxiliares b)con ánodos auxiliares	21
Figura 13 Esquema general de Tambor para electrodeposición	22
Figura 14 Esquema de incorporación de iones metálicos en un tambor.....	22
Figura 15 Esquema general de Rack para electrodeposición.....	23
Figura 16 Esquema de incorporación de iones metálicos en un rack	23
Figura 17 Representación de la Celda de Hull.....	25
Figura 18 Diferentes resultados de la Celda de Hull	26
Figura 19 Curva de calibración de 3 corrientes aplicadas	27
Figura 20 Esquema de cámara salina.....	28
Figura 21 Clasificación de la protección Rp y apariencia Ra.....	29
Figura 22 Tipos de deterioros del recubrimiento	29
Figura 23 Características de Capsula R-1 3/16.....	31
Figura 24 Celda de Hull, con agitación por aire y termo regulada	33
Figura 25 Rectificador de corriente directa.....	33
Figura 26 Cuba electrolítica de 10lt con electrolito.....	34

Figura 27 Rack prototipo fabricado	34
Figura 28 Tambor prototipo fabricado.....	35
Figura 29 Bomba de aire para agitación del electrolito	35
Figura 30 Cámara de corrosión acelerada Centro Carrocero	36
Figura 31 Flujograma del plan de recolección de información	41
Figura 32 Flujograma del tratamiento para las probetas.....	44
Figura 33 Proceso de producción de la Capsula R-1 3/16	45
Figura 34 Dosificación en Celda de Hull.....	46
Figura 35 Experimentos Celda de Hull - Probetas de 1 al 4.....	46
Figura 36 Experimentos Celda de Hull - Probetas de 5 al 8.....	46
Figura 37 Gráfico de barras para la razón de corrosión	75
Figura 38 Diagrama de Pareto de efectos de incidencia	78
Figura 39 Efectos principales de las Variables	78
Figura 40 Relación de interacción de las Variables.....	79
Figura 41 Flujograma del Proceso de galvanizado	85
Figura 42 Mapa de área de trabajo del proceso	89

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene por objetivo realizar el estudio del galvanizado electrolítico de Zinc sobre superficies interiores de los acoples R-1 3/16 que son manufacturados por la empresa Impofreico S.A. Mediante un diseño experimental factorial 2 exponente a la 3, variando parámetros del proceso de recubrimiento, como; la disposición de las piezas, agitación del electrolito y tiempo de inmersión, para determinar la incidencia en su calidad de protección anticorrosiva bajo norma INEN 1176. Para obtener los niveles óptimos del electrolito para la electrodeposición se utilizó una celda de Hull, por los resultados obtenidos se estableció que los parámetros óptimos de trabajo son a una temperatura de 20 grados centígrados y con una densidad de corriente 2,7 amperios por decímetro al cuadrado. Posterior a los experimentos se observó que la disposición de las piezas dentro del electrolito es la más determinante en cuanto a recubrimiento de la capa de zinc de la superficie interna de las probetas, proporcionando una buena protección anticorrosiva a los elementos de estudio. Así mismo luego del análisis de costos para implementar los equipos para el proceso se determinó que el retorno de inversión se daría en 18 meses y a partir de esa fecha el ahorro económico para la empresa será del 40 por ciento.

Descriptor: Galvanizado electrolítico de Zinc, calidad de protección, anticorrosivo, superficies internas, acoples, recubrimiento, corrosión.

EXECUTIVE ABSTRACT

The aim of this research is to study the electro galvanizing of zinc or electroplating of Zinc, on the inner surfaces of R-1 3/16 couplings manufactured by Impofreico S.A. By means of a factorial experimental 2 to the third power design, varying parameters of the coating process, such as; the arrangement of the couplings, the agitation of the electrolyte and the immersion time, in order to determine the incidence on its quality of anti-corrosive protection under the INEN 1176 standard. To obtain the optimum levels of the electrolyte for the electrodeposition, a Hull cell was use. From the results obtained, it was established that the optimum working parameters are at a temperature of 20 Celsius degrees and with a current density of 2.7 ampere per square decimeter. After the experiments, it was observed that the arrangement of the couplings inside the electrolyte is the most determinant in terms of coating of the zinc layer of the internal surface of the samples, providing a good anticorrosive protection to the elements of study. Likewise, after the cost analysis to implement the equipment for the process, it was determined that the return on investment would be in 18 months and from that date the economic savings for the company will be 40 percent.

Keywords: Electrolytic zinc galvanizing, protection quality, anti-corrosion, internal surfaces, couplings, coating, corrosion.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

En el mundo el empleo del acero en las diferentes ramas de la manufactura ha tenido un crecimiento acelerado, según la Asociación Mundial del Acero (World Steel Association) [1] la producción neta de acero en 1950 fue de 189 millones de toneladas, si se compara con la producción del año 2018 que fue de 1808 millones de toneladas podemos observar la acogida y el impacto que ha tenido a lo largo de los años.

Aun cuando la acogida del acero ha sido enorme por sus grandes atributos, este material posee algunos aspectos negativos, entre esos está la corrosión. La corrosión en los metales es uno de los problemas más grandes el cual puede generar altas pérdidas económicas. El estudio realizado en 2002 por la **NACE Internacional** o Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión por sus siglas en inglés, desde el año 1999 al 2001 se registró una pérdida en Estados Unidos del 3% del PIB que equivalió a 276 billones de dólares a consecuencia de la corrosión [2].

Debido a que el hierro y acero son utilizados ampliamente en la industria actual y siendo uno de los mayores problemas de este tipo de materiales la corrosión; se han desarrollado decenas de investigaciones dirigidas a buscar la mejor protección para este fenómeno, entre los principales están las pinturas anticorrosivas [3], recubrimientos metálicos [4] y el más reciente los recubrimientos inteligentes basados en nanopartículas de sílice [5].

Los recubrimientos metálicos mediante la electrodeposición de zinc es uno de los más utilizados debido a que ofrece una protección catódica al acero, así como también por su mejor resistencia a la corrosión en la mayoría de medios donde este se corroe de 5 a 100 veces más lento que el acero [6].

En los estudios realizados por Zhang [7], concluyo que la concentración de electrolito; el espesor de la capa de Zinc sobre el acero y el área de la pieza tienen una influencia muy grande en cuanto a protección contra la corrosión.

Así mismo, mediante experimentos Zhang [8] determinó que aun cuando exista un desprendimiento relativamente pequeño de la capa de zinc que recubre a un acero, este será protegido de la oxidación gracias a que existe una distancia de protección galvánica latente. Esto favorece enormemente a la prevención de la corrosión de

objetos que estén sometidos a ciertas fuerzas externas que provoquen rayones o abolladuras en el recubrimiento.

Se han realizado estudios comparativos sobre la efectividad contra la corrosión, en una atmosfera de clorhidrato de sodio, que provee el Zn versus una aleación de Zn – Mg en donde se concluye que la aleación tiene un mayor porcentaje de protección [9].

El electrolito o los baños para el galvanizado electrolítico juegan un gran papel en la calidad del acabado superficial, algunos estudios se han realizado dirigidos a los aditivos y tipos de baños para el galvanizado electrolítico, uno de los más usado ha sido los baños alcalinos cianurados que generan daños al medio ambiente y salud por lo que en la actualidad se están desarrollando baños alcalinos nobles para disminuir el impacto negativo, incluso se ha estudiado la influencia de aditivos orgánicos para mejorar la calidad de los recubrimientos.[10][11]

En una comparación entre la norma ASTM A153 [12] que se refiere al galvanizado por inmersión en caliente estipula que el espesor de recubrimiento que se conseguirá en acero será de alrededor de 78 - 86 μm , y la ASTM B633 [13] que se refiere al galvanizado electrolítico el cual expresa que el recubrimiento será de 5 – 25 μm . Siendo este un factor importante que considerar en cuanto al método de recubrimiento a utilizar debido a la naturaleza de las piezas a ser tratadas.

Los lineamientos para una buena limpieza previo el galvanizado electrolítico están descritos en la norma ASTM B322 [14], aquí se podrá encontrar distintos métodos para la limpieza de metales específicamente, estos parámetros serán de mucha importancia para garantizar un proceso sin contaminantes que puedan alterar los resultados.

Se ha estudiado y establecido requisitos por parte de la INEN 671 [15] para desarrollar un buen proceso de recubrimiento electrolítico de zinc sobre elementos de acero, esto nos da pautas normadas que se deben aplicar al momento de realizar los experimentos.

Con el objetivo de determinar el recubrimiento de zinc y su resistencia a la corrosión la norma INEN 1 176 [16] establece, basado en normas internacionales, un método sencillo para reconocer el índice de corrosión de una muestra tomada.

De lo visto se concluye que el recubrimiento anticorrosivo más utilizado es el recubrimiento metálico por el método de galvanoplastia debido a su bajo costo y gran

protección contra la oxidación. Así mismo entre los procesos de galvanizado el que tiene mejor acabado y no altera las tolerancias debido a su bajo espesor es el realizado por electrolisis.

Según ALACERO (Asociación latinoamericana del acero) [17] en el 2017 Ecuador tuvo una demanda de acero laminado de 183 mil toneladas y la producción de acero crudo fue de 561 mil toneladas con un crecimiento del 4% para el 2018. Por ello es de vital importancia los recubrimientos anticorrosivos para evitar las pérdidas económicas.

En la empresa Impofreico; la cual fabrica acoples de mangueras para usos varios, se ha encontrado un problema en la calidad del recubrimiento interno de dichos acoples los cuales presentan una corrosión prematura, comprometiendo la durabilidad de los productos vendidos los cuales pueden romperse por la disminución de espesor de las paredes debido a la corrosión.

1.2 Justificación

La presente investigación tiene como finalidad obtener los lineamientos óptimos para el proceso de recubrimiento galvánico electrolítico con zinc a los productos maquinados en tornos CNC realizados por la empresa Impofreico S.A, específicamente el trabajo está orientado al recubrimiento interno de los elementos maquinados ya que en la actualidad presentan una oxidación prematura, creando problemas graves en la calidad del producto final.

La investigación fomenta un aporte teórico debido a que se expandirá el conocimiento ya existente sobre la afectación de las variables en el recubrimiento de superficies internas de acoples con un documento técnico construido bajo criterios de rigor científico. Un nivel práctico pues permitirá desarrollar una tecnología que provea con óptimos recubrimientos internos. Metodológico, una vez demostrado su validez y confiabilidad de la tecnología, esta investigación podrá ser utilizada por futuras investigaciones o ser aplicada en diferentes campos. Por último, tendrá un impacto económico ya que disminuirá las pérdidas económicas ligadas con la corrosión y sus reprocesos.

1.3 Problema

En la industria ecuatoriana el consumo de acero tiene un gran impacto en la economía del país, una de las tantas empresas que utiliza dicha materia prima es la empresa Impofreico S.A que fábrica acoples de mangueras hidráulicas, donde gerencia recopiló información que indica la existencia de problemas de corrosión prematura en un 40% de sus productos almacenados afectando a la calidad y resistencia del producto, siendo el producto con mayor afectación la capsula R-1 3/16. Aun cuando existen varios estudios y procesos anticorrosivos por galvanizado electrolítico, no se ha encontrado un análisis puntual del recubrimiento en superficies internas por lo que es necesario estudiar con mayor profundidad.

1.4 Preguntas Directrices

- ¿Qué es el galvanizado electrolítico y cuáles son sus principales componentes y variables que definen el proceso?
- ¿Cuáles son los niveles químicos óptimos de un baño electrolítico?
- ¿Cómo comprobar cuál es el factor o variable que más influye en el proceso?
- ¿Cómo solucionar el problema de corrosión prematura de los acoples mecanizados en CNC por Impofreico S.A.?

1.5 Objeto

Galvanizado electrolítico.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Desarrollar una tecnología para el proceso de galvanizado electrolítico que disminuya la corrosión prematura en superficies internas de acoples hidráulicos comercializados por la empresa Impofreico S.A.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Estudiar el proceso de galvanizado electrolítico acorde a la aplicación de la empresa teniendo en cuenta las variables que influyen en la calidad del recubrimiento.
- Estudiar los componentes químicos de los baños electrolíticos y seleccionar el óptimo para la aplicación en la empresa.

- Determinar experimentalmente la influencia de los factores que intervienen en el proceso de galvanizado electrolítico.
- Proponer la tecnología de galvanizado electrolítico más adecuada en relación a los experimentos.

1.7 Campo

Tecnología del Galvanizado Electrolítico en superficies internas.

1.8 Hipótesis

Una óptima combinación de las variables del galvanizado electrolítico permitirá mejorar el proceso de electrodeposición de zinc en superficies internas, disminuyendo los procesos generados por la corrosión prematura.

1.9 Señalamiento de Variables

1.9.1 Variable Independiente

Para el galvanizado electrolítico de zinc, las variables que se manipularan en el proceso son:

- Disposición de las piezas
- Agitación de electrolito
- Tiempo de inmersión

1.9.2 Variables dependientes

Grado de protección anticorrosiva de superficies internas

1.9.3 Termino de Relación

Incidencia

1.10 Fundamentación Teórica

1.10.1 Fenómeno de corrosión atmosférica en metales

La corrosión se puede entender como una reacción química de los metales con su entorno, este va a presentar un deterioro de su estructura debido al intercambio de electrones libres con un agente exterior. La velocidad de corrosión de un metal se ve afectada en cierta medida por la temperatura y de la concentración de reaccionantes y producto; sin embargo, los metales no son los únicos que pueden ser corridos, las

cerámicas y polímeros también pueden presentar deterioro por ataque químico directo[18].

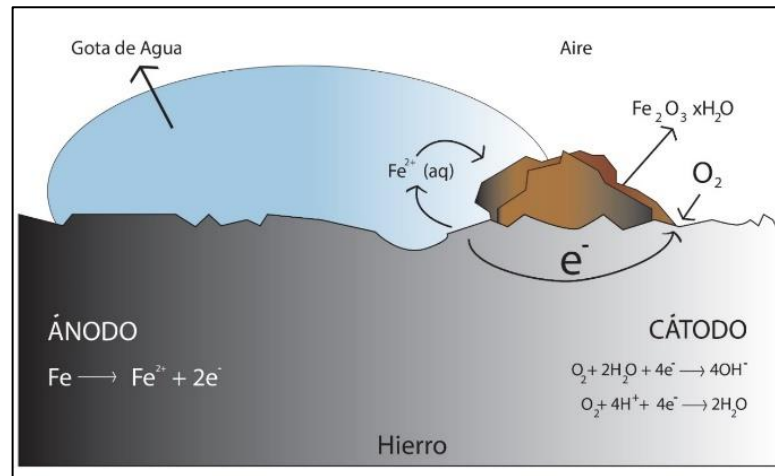


Figura 1 Esquema Corrosión del Hierro [Autor].

Debido a que la mayoría de reacciones de corrosión son de naturaleza electroquímica, es necesario entender este proceso. Este fenómeno se presenta cuando los átomos de un metal pierden electrones para transformarse en iones, consumiendo el material de tal forma que genera subproductos como óxidos entre otros. El ambiente más favorable para que se dé la corrosión electroquímica son los medios acuosos, con esas condiciones y características el proceso recibe el nombre de celda electroquímica.

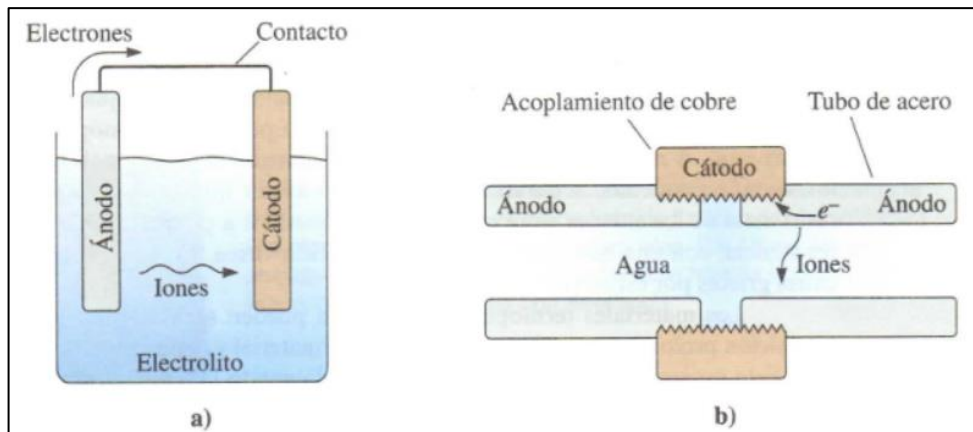
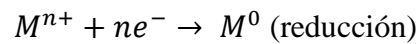
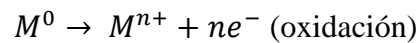


Figura 2 Esquema de celdas electroquímicas [19].

Aunque este tipo de celdas electroquímicas son las causantes de corrosión y deterioro de los materiales, también pueden llegar a tener una utilidad muy importante en nuestro medio ya que con ellas podemos crear un enchapado o deposición deliberada de un metal sobre otro con el fin de crear una capa protectora anticorrosiva.

Esto se puede lograr ya que los átomos pueden ceder o recibir electrones, donde la oxidación surge a medida que el átomo pierde electrones mientras que la reducción es lo opuesto, el átomo recibe electrones. Sin embargo, los electrones no pueden crearse de la nada, por lo que si un átomo recibe electrones es porque otro los está cediendo, dando lugar simultáneamente a una oxidación y reducción. Este proceso recibe un nombre abreviado de reacción redox (oxido-reducción) [20].



1.10.2 Recubrimientos anticorrosivos

Existen varios procesos que pretenden mitigar el fenómeno de la corrosión en metales, el más reciente de las investigaciones se basa en los recubrimientos inteligentes basadas en nanopartículas de sílice que son amigables con el medio ambiente. Otro de los procesos comúnmente utilizados es el de las pinturas anticorrosivas que son a base de resinas poliméricas con pigmentos. Aun cuando existen varios tipos de recubrimientos anticorrosivos, el que más se utiliza en la actualidad son los recubrimientos metálicos que ofrecen una protección catódica ante la corrosión y específicamente los que ocupan el zinc como metal de recubrimiento mediante la galvanoplastia, ya que el zinc se corroe de 5 a 10 más lento que los aceros[3][4][6][5].

La galvanoplastia se puede dividir en dos procesos[21]:

- Galvanizado por inmersión en caliente
- Galvanizado por electrodeposición

La presente investigación está enfocada en los recubrimientos por electrodeposición de zinc, ya que en la empresa a la que está enfocada esta investigación manufactura acoples hidráulicos los mismos que deben tener precisión en sus medidas y el espesor del recubrimiento no debe incrementar sus medidas significativamente, siendo el galvanizado en caliente el más crítico en este aspecto debido a los espesores de recubrimiento que proporciona.

Como menciona Winand[22] el potencial de reducción de zinc es de -0.76V siendo este mucho más negativo que el hierro con -0.44V , donde el Zinc presenta una excelente protección catódica ante la corrosión. Los baños electrolíticos utilizados pueden ser de soluciones acidas de sulfatos y cloruros versus los baños cianurados, donde existe diferencias relevantes mientras que con los baños ácidos de sulfatos y cloruros brindan un acabado más rugoso y grueso con mayor cantidad de desperfecto superficiales debido a la actividad de los aniones de sulfato y cloruro. Por otro lado, los baños cianurados generan un acabado mucho más fino con una superficie más brillante, y si a este baño se le adiciona aditivos orgánicos el acabado será mucho mejor.

Para entender de mejor manera lo antes expuesto se mencionará los conceptos y procesos que engloban la electrodeposición de un metal sobre otro, como también el método de experimentación de la celda de hull y la cámara de niebla salina los cuales serán claves para la investigación, por lo que los temas a continuación serán cubiertos con el fin de tener los fundamentos necesarios.

- Celdas electroquímicas
- Potencial del electrodo en celdas electroquímicas
- Leyes de Faraday
- Electrodeposición
- Celda de Hull

1.10.3 Celdas Electroquímicas

Una celda electroquímica tiene muchas aplicaciones como una herramienta tecnológica donde el transporte de electrones puede generar consumo o producción de energía para diversas tareas. Las celdas están formadas siempre de 1 conductor eléctrico, 2 electrodos un cátodo un ánodo y 1 conductor iónico (electrolito), este proceso depende enteramente de los factores de temperatura, presión, concentración iónica, concentración de electrolito, tipo de electrodos, la corriente entre otros. Con esta configuración pueden existir 3 tipos de celdas [23].

- Celdas Galvánicas
- Celdas Electrolíticas
- Celdas de concentración

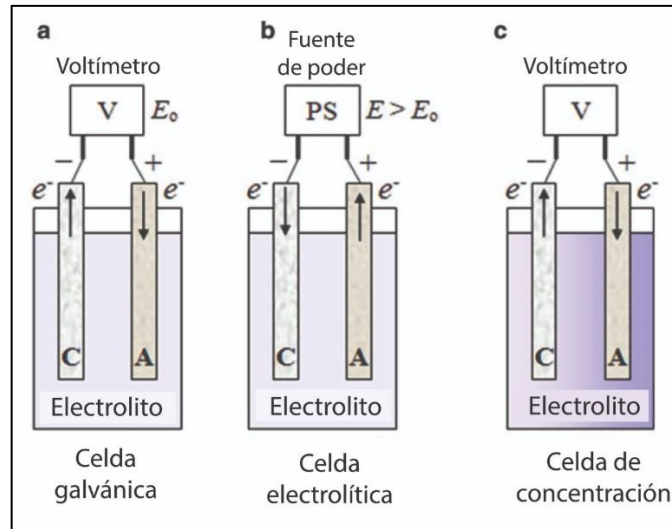


Figura 3 Celda Galvánica, Celda Electrolítica, Celda de Concentración [23].

Celdas Galvánicas: son celdas donde su cátodo y ánodo son de diferentes metales, por la naturaleza de la celda se produce energía eléctrica espontanea a partir de la energía química producida por la reacción redox. Son ampliamente utilizadas en baterías, pilas etc.

Celdas Electrolíticas: al igual que las celdas galvánicas, estas poseen un cátodo y ánodo de diferentes metales, la diferencia en este es que la reacción redox es forzada por una fuente eléctrica externa que provee del flujo de corriente la cual invierte el flujo de electrones. Esta celda consume energía eléctrica para dar paso a una reacción química generando energía química. Es un método utilizado para electrodeposición de metales generando protección catódica.

Celdas de concentración: son prácticamente celdas galvánicas, pero el cátodo y ánodo son del mismo metal, en esta celda varia la concentración del electrolito, donde el número de moles tratara de equilibrarse por medio de una reacción redox espontanea, dando como resultado energía eléctrica.

Tabla 1 Comparación de las celdas electroquímicas.

Celda Galvánica	Celda Electrolítica	Celda de Concentración
Energía química ↓ Energía eléctrica	Energía eléctrica ↓ Energía química	Energía química ↓ Energía eléctrica
Reacción espontanea	Reacción forzada	Reacción espontanea

Cátodo positivo	Cátodo negativo	Cátodo positivo
Ánodo negativo	Ánodo positivo	Ánodo negativo
$E^{\circ} > 0$	$E^{\circ} < 0$	$E^{\circ} > 0$

Fuente: Autor.

1.10.4 Potencial del electrodo en celdas electroquímicas

No todos los metales se oxidan o reducen a la misma velocidad, esto se debe a que cada metal tiene un potencial diferente de reacción. Por convenio, se ha establecido como referencia al electrodo de hidrogeno como nulo o de potencial cero, dándole a conocer como electrodo estándar de hidrogeno. Dicho electrodo fue medido en una disolución de 1M (molar) de iones de H^+ , sumergiendo una lámina de platino que tiene contacto con hidrogeno gaseoso, a $25^{\circ}C$ y a una presión atmosférica de 1atm [20].

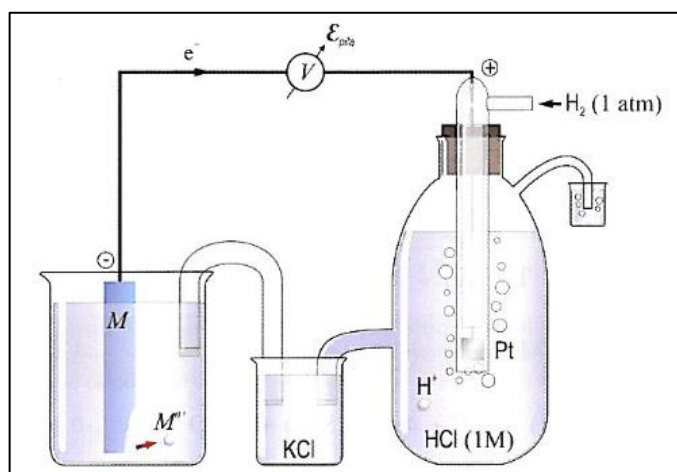


Figura 4 Esquema de proceso para determinar el potencial estándar de un metal M a partir del potencial estándar de hidrogeno [20].

El platino es elegido para encontrar este potencial debido a que es tan noble que no reacciona con el proceso y solo sirve como medio de transporte de los electrones.

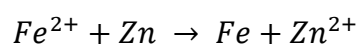
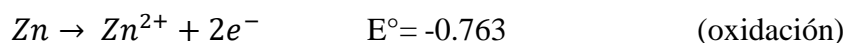
A partir de esto se puede obtener el potencial estándar de cualquier metal siendo la referencia nula el electrodo estándar de hidrogeno. A continuación, la figura 5 muestra los potenciales estándar de diferentes metales ordenados de forma descendente del más catódico al más anódico.

	Reacción de oxidación (corrosión)	Potencial del electrodo (E°) (voltios contra electrodo de hidrógeno estándar)
Más catódico (menos tendencia a la corrosión)	$\text{Au} \rightarrow \text{Au}^{3+} + 3e^-$	+1.498
	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^-$	+1.229
	$\text{Pt} \rightarrow \text{Pt}^{2+} + 2e^-$	+1.200
	$\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + e^-$	+0.799
	$2\text{Hg} \rightarrow \text{Hg}_2^{2+} + 2e^-$	+0.788
	$\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e^-$	+0.771
	$4(\text{OH})^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$	+0.401
	$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e^-$	+0.337
	$\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2e^-$	+0.150
	$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2e^-$	0.000
	Más anódico (mayor tendencia a corroerse)	$\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e^-$
$\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{2+} + 2e^-$		-0.136
$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+} + 2e^-$		-0.250
$\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{2+} + 2e^-$		-0.277
$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e^-$		-0.403
$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$		-0.440
$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e^-$		-0.744
$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$		-0.763
$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3e^-$		-1.662
$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e^-$		-2.363
$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e^-$		-2.714

*Las reacciones se escriben como medias celdas anódicas. Cuanto más negativa es la reacción de media celda, tanto más anódica es la reacción y tanto mayor la tendencia para que ocurra corrosión u oxidación.

Figura 5 Potencial estándar de electrodos a 25°C [18].

Mediante los mismos principios se puede medir el potencial asociada con una celda electroquímica, como ejemplo consideramos al Fe y al Zn, en este caso el Zn será el ánodo el cual cederá electrones, mientras que el Fe es el cátodo el cual recepta estos electrones.



Debido a que el hierro va a ser reducido su signo de potencia estándar cambia, dejando un potencial de celda de $E^\circ = 0.323 \text{ V}$

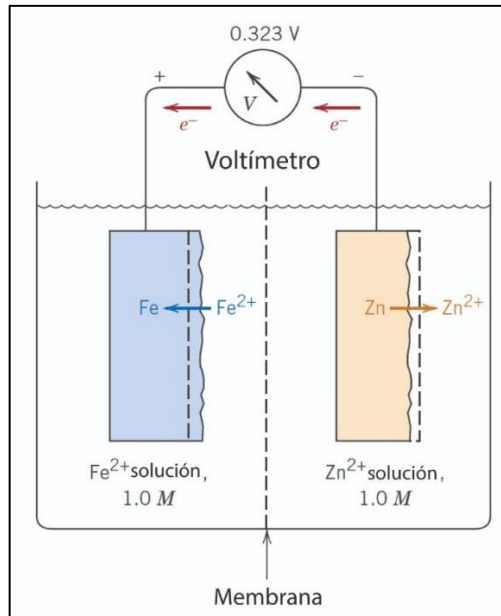


Figura 6 Celda electroquímica de Fe y Zn [24].

1.10.5 Leyes de Faraday

Michael Faraday fue uno de los grandes iconos en la historia científica, postulando varios descubrimientos los cuales han sido un gran aporte para la humanidad. Para la presente investigación se toma como punto de partida las leyes de la electrolisis enunciadas por este científico en 1834, se pueden encontrar varias versiones de estas leyes enunciadas en diferentes artículos y libros científicos pero a la final conllevan a la misma expresión matemática[25][23].

Primera Ley: “La cantidad de un elemento que se libera en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que pasa a través de la disolución” [26].

$$m = \varepsilon * q \quad \text{Ec. (1. 1)}$$

Donde:

m = Masa depositada

ε = Equivalente electroquímico

q = Cantidad de carga o electricidad

Si $q = i * t$, donde i es la intensidad de corriente eléctrica y t es el tiempo entonces:

$$m = \varepsilon * i * t \quad \text{Ec. (1. 2)}$$

Sabemos que el equivalente electroquímico (ε) es la cantidad de masa de una sustancia liberada por el paso de un culombio de carga.

$$\varepsilon = \frac{m}{q} \quad \text{Ec. (1. 3)}$$

Segunda Ley: “Si la cantidad de electricidad es constante, el peso de distintos elementos liberados es proporcional a sus equivalentes químicos. La cantidad de sustancia liberada por un culombio se conoce como equivalente electroquímico”[26]

$$\frac{m_{M^+}}{m_{M^{2+}}} = \frac{E_{M^+}}{E_{M^{2+}}} \quad \text{Ec. (1.4)}$$

Puesto que para liberar un peso equivalente de un elemento se necesita un faradio entonces el equivalente electroquímico (ε) se puede expresar como:

$$\varepsilon = \frac{\text{Peso equivalente (Peq o Eq)}}{F} \quad \text{Ec. (1. 5)}$$

Un faradio es el producto del número de Avogadro (N_A) y la carga eléctrica elemental de un electrón (e).

$$F = N_A * e \quad \text{Ec. (1.6)}$$

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ culombios}$$

$$F = 96485.3365 \text{ culombios} * \text{ mol}^{-1}$$

Ya que $1F$ es la cantidad de electricidad necesaria para liberar un mol de electrones entonces la constante de Faraday postulada por el científico del mismo nombre fue de $F = 96500 \text{ culombios} * \text{ mol}^{-1}$.

Ahora sabemos que el peso equivalente (P_{eq}) de un elemento también llamado equivalente químico (E_q) es igual al peso atómico del elemento dividido para el numero de electrones (n) del mismo.

$$P_{eq} = E_q = \frac{P_A}{n} \quad \text{Ec. (1. 7)}$$

Combinando las ecuaciones anteriores queda la expresión de la cantidad de gramos depositados mediante el paso de corriente, de la siguiente manera:

$$m = \frac{P_A * I * t}{n * 96500} \quad \text{Ec. (1. 8)}$$

Donde:

m Masa depositada (g)
 P_A Peso atómico (g)

i	Intensidad de corriente (A)
t	Tiempo (s)
n	Numero de electrones
$F = 96500$	Constante de Faraday (A*s)

1.10.6 Electrodeposición

Para la electrodeposición de un metal sobre otro, se utiliza los principios de las celdas electrolíticas las cuales tienen los siguientes componentes principales:

- Cuba electrolítica o recipiente contenedor
- Ánodo
- Cátodo
- Fuente de electricidad DC
- Electrolito (medio liquido conductivo)

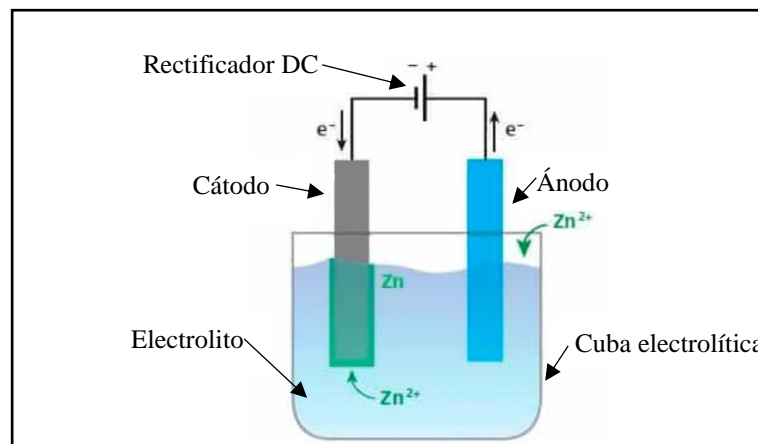


Figura 7 Esquema de elementos para electrolisis [Autor].

Cuba electrolítica

Las cubas electrolíticas industriales por lo general son de un cascaron de acero recubiertos de un aislamiento polimérico o hasta cerámico con el fin de prevenir el ataque químico del electrolito hacia el metal.

Para el arreglo de las piezas dentro de la cuba se pueden utilizar dos tipos que se utilizan alrededor del mundo y que ofrecen grandes resultados cada uno con sus ventajas y desventajas, estos son por medio de un Rack que proporcionan un arreglo geométrico individual de la pieza o por un tambor que gira por medio de engranes dentro del electrolito. [27]

Cátodo

Es el metal al cual se le va a recubrir o el cual va a recibir una protección, en este proyecto se estudian los acoples R-1 3/16 que son manufacturados mediante tornos CNC en la empresa Impofreico.

Ánodo

Es el metal el cual va a liberar sus electrones y transferirlos al cátodo, este metal sirve de sacrificio ante la corrosión del ambiente circundante. El zinc es uno de los elementos más utilizados en este proceso debido a sus costos y su efectividad ante la corrosión.

Fuente de electricidad DC

Es un elemento importante ya que la electrolisis es un proceso el cual consume energía eléctrica para producir energía química dando lugar a la electrodeposición de metales, la función de este equipo es rectificar la onda AC de la red de energía a corriente DC.

Electrolito

El electrolito es uno de los factores más importantes en el cual se profundizará un poco más, debido a que existen varios tipos de baños electrolíticos para la electrodeposición de zinc que serían viables. Estos pueden ser baños ácidos, alcalinos cianurados de baja, media y alta concentración y por último los baños alcalinos sin cianuro los cuales poco a poco van creciendo en el mercado.

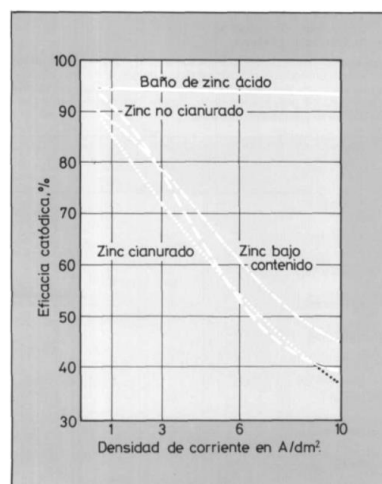


Figura 8 Eficacia de los baños electrolíticos de zinc [26].

En la figura 8 se puede observar cómo los baños ácidos superan por mucho la eficacia de deposición de zinc, siendo un punto influyente al momento de seleccionar un electrolito para el proceso.

Baños Ácidos

Los baños ácidos presentan una eficacia del 95 – 98%, siendo la mejor entre los otros electrolitos. Una de las ventajas de este tipo de baños es el tratamiento de aguas residuales ya que con un simple ajuste al pH de entre 8,5 y 9 ayuda a la precipitación de los restos de zinc, esto siempre y cuando se utilice el cloruro potásico exento del ion amonio. Así mismo el baño ácido tiene una gran conductividad lo que disminuirá el consumo de energía en el proceso, así como también el brillo obtenido por este medio será superior [26].

Hay muchos autores y libros que describen los parámetros iniciales de estos baños para poder ir ajustando los niveles según nuestra aplicación en la industria. Se tomó la siguiente referencia del baño ácido como punto de partida.

Tabla 2 Características y composición de los baños de zinc ácidos, exentos del ion amonio.

Componente	Rango	Óptimo
Cloruro de zinc	62 – 85 g/l	71 g/l
Cloruro potásico	186 – 255 g/l	207 g/l
Ácido bórico	30 – 38 g/l	34 g/l
Humectante	60 – 90 g/l	80 ml/l
Abrillantador	0.5 – 1 ml/l	0.8 ml/l
pH	4.8 – 5.4	5.2
Análisis:		
Zinc metal	30 – 41 g/l	34 g/l
Ion cloruro	120 – 165 g/l	135 g/l
Condiciones de trabajo:		
Temperatura		
Densidad corriente	21 – 35 °C	25 °C
Voltaje	2 – 4 A/dm ² 1 – 5 V	2.7 A/dm ² –

Fuente: [26].

Baños alcalinos cianurados

Este tipo de baños han sido los más utilizados a nivel industrial debido a que son muy fáciles de controlar con un sencillo análisis de zinc, cianuro total e hidróxido sódico. La desventaja más crítica de estos baños es el costo de tratamiento de aguas debido a su composición química. Estos baños pueden alcanzar un rendimiento de entre 60 a 90% dependiendo de las instalaciones, densidad de corriente, temperatura y relación cianuro total – zinc metal. Se puede decir que hay 3 tipos de baños cianurados, los de bajo contenido de cianuro, medio contenido de cianuro y alto contenido de cianuro [26].

Así mismo se establece una tabla de la composición y condiciones de trabajo de los baños cianurados dependiendo su concentración.

Tabla 3 Composición y condiciones de trabajo de los baños cianurados.

	Alto contenido de cianuro	Medio contenido de cianuro	Bajo contenido de cianuro
Cianuro zinc (g/l)	61	30	9.5
Cianuro sódico (g/l)	42	20	7.5
Hidróxido sódico (g/l)	80	75	65
Polisulfuro sódico (g/l)	2	2	-
Abrillantadores (g/l)	1 – 3	1 – 3	1 – 4
Valores Analíticos			
Zinc metal	34	17	7.5
Cianuro sódico total	93	45	7.5
Hidróxido sódico	79	75	75
Relación cianuro sódico - zinc	2.75	2.6	1.0

Fuente: [26].

Baños alcalinos sin cianuro

Esta clase de baños no han tenido la acogida esperada por parte de las industrias que emplean los procesos de electrodeposición de zinc, tan solo el 10% de las instalaciones trabajan con este, debido de igual forma a los costos de tratamientos de aguas como también a la eficacia de la deposición del metal. Este tipo de baños han sido pensados para que se pueda utilizar en las mismas instalaciones de los baños alcalinos cianurados.

A continuación, la tabla muestra la composición y condiciones de trabajo del zinc sin cianuro.

Tabla 4 Composición y condiciones de trabajo del zinc sin cianuro.

Óxido de zinc (g/l)	9.5
Hidróxido sódico (g/l)	90
Abrillantadores	2 – 3
Valores analíticos	
Zinc (g/l)	7.5
Hidróxido sódico (g/l)	90
Temperatura (°C)	20 – 30
Densidad de corriente (A/dm ²)	2 – 4
Voltaje bastidor (Volts)	3 – 6
Voltaje Bombo (Volts)	12 – 18

Fuente: [26].

Con los datos expuestos, se observa que el baño más eficiente es por el medio ácido, además tiene como característica importante que el tratamiento de agua no conlleva un proceso complicado ni costoso.

1.10.7 Incorporación del Zn en el cátodo

Después de conocer los conceptos de celdas electroquímicas, oxidación y las leyes de Faraday se logra entender de mejor manera lo que conlleva en depositar un metal sobre otro. El flujo de iones del metal Zn viajan a través del electrolito de

distintas maneras y esto se debe a la geometría del cátodo y la posición de los ánodos. Los arreglos que se pueden proponer para este proceso son bastantes extensas, aunque no todas podrían ser las más óptimas para el tipo de pieza que necesitamos recubrir por ello se explicará los principios básicos del proceso de incorporación del ion de Zn en el cátodo.

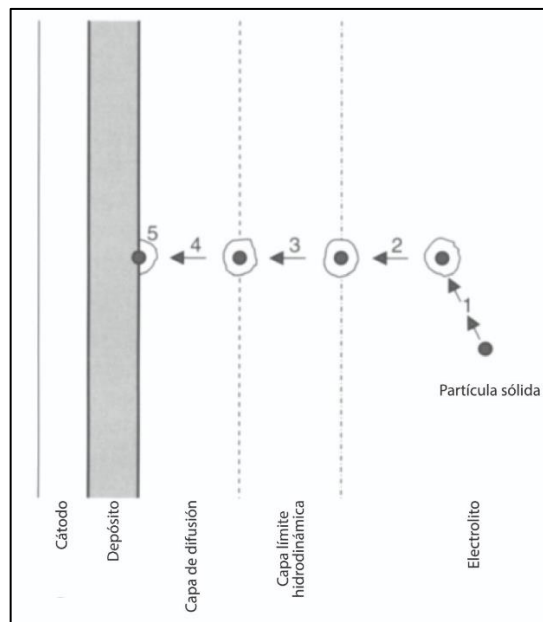


Figura 9 Proceso de incorporación de una partícula sólida en un depósito metálico
1) Transporte por Convección 2) Transporte por difusión 3) Reacción de reducción
4) Absorción. [28]

Como se observa en la figura 9 el ion del metal se desprende y procede a recubrir la superficie de un metal base, este tiene varios pasos antes de ser absorbido finalmente, las partículas de Zn viajan por el electrolito hacia el cátodo gracias a la celda electrolítica. Sin embargo, no todos los iones viajan siempre las mismas distancias o por los mismos tramos por lo que un factor a considerar es la forma de la pieza a trabajar. Habrá lugares de las piezas donde lleguen más rápido los iones y otros lugares donde tal vez ni siquiera lleguen como se puede observar en la figura 10. [28]

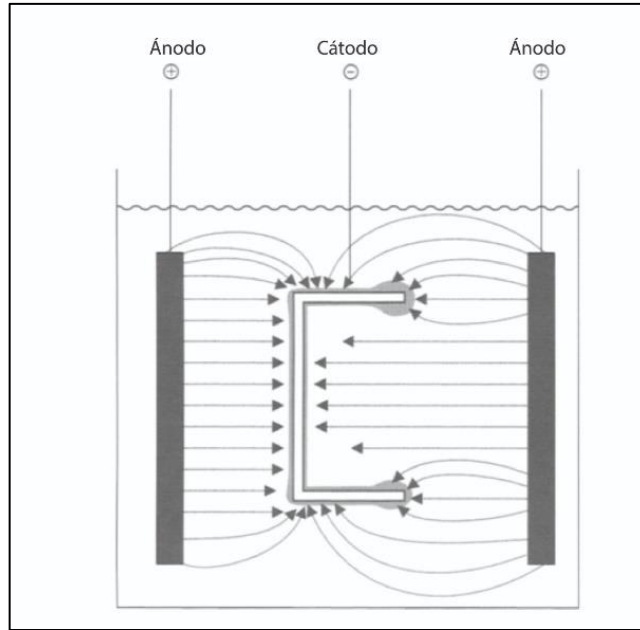


Figura 10 Esquema general de transporte de iones en la electrodeposición. [28]

Se puede mitigar este tipo de fenómenos de diferentes maneras dependiendo de lo que se está buscando en el proceso. Por ejemplo, se puede colocar deflectores, repositionar los ánodos o colocar ánodos auxiliares entre otros.

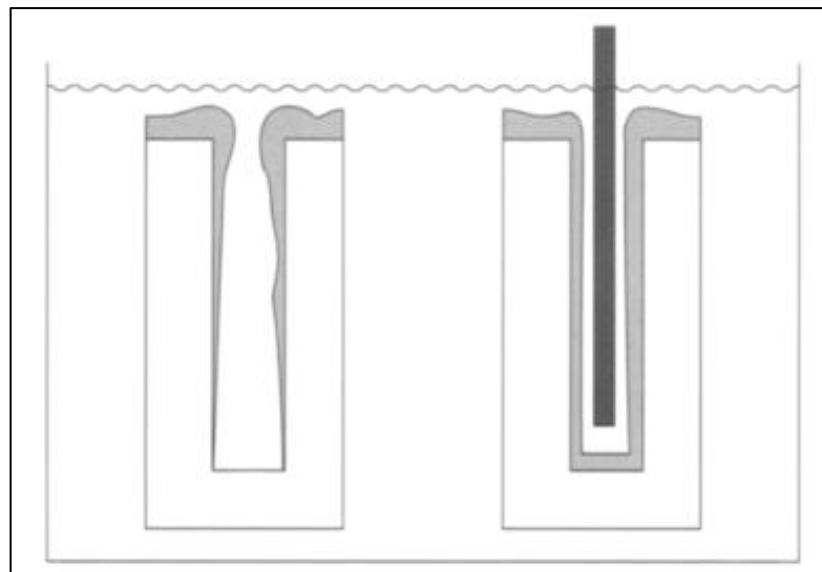


Figura 11 Ejemplo de reposicionamiento del ánodo. [28]

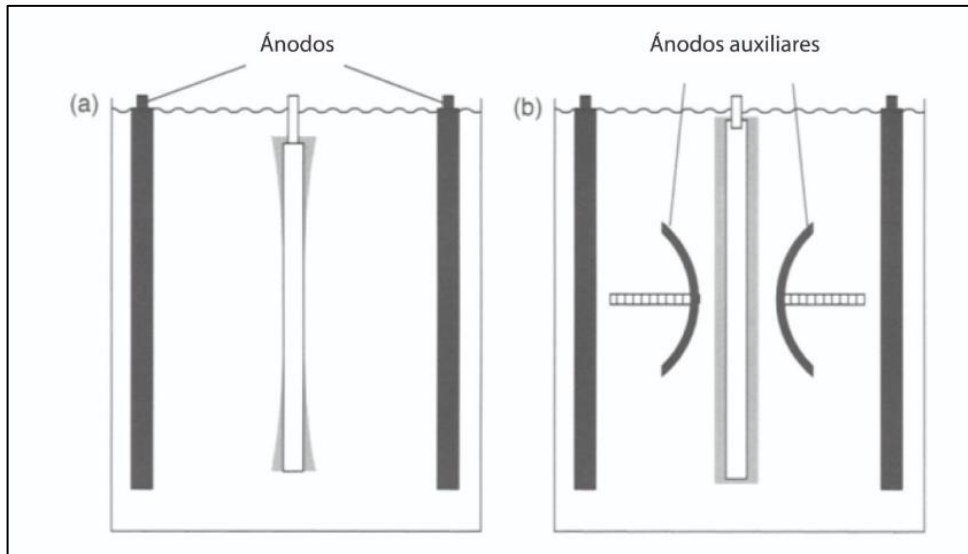


Figura 12 Ejemplo de ánodos auxiliares a) sin ánodos auxiliares b) con ánodos auxiliares. [28]

En la figura 11 y 12 se puede observar la mejora en la distribución de la capa del recubrimiento al ubicar de mejor manera o al utilizar ánodos auxiliares correspondientemente. Como ya se mencionó anteriormente esto está estrechamente ligado a la geometría de las piezas a recubrir y la disposición de las mismas dentro del electrolito.

Los equipos más utilizados y que se venden comercialmente para las industrias son tambor y del rack en cuanto a la disposición de las piezas. Son las dos formas más usadas de suspender o introducir las piezas a recubrir dentro del electrolito.

Tambor

Es una estructura de plástico generalmente de geometría hexagonal la cual gira mediante engranes ubicados en un costado mediante un motor eléctrico. Sus paredes tienen pequeñas perforaciones las cuales dejan pasar el electrolito, en su interior posee una masa conectada al polo negativo del rectificador de corriente DC, la cual hace contacto con las piezas en su interior dando una polaridad a todo lo que entre en contacto con ella.

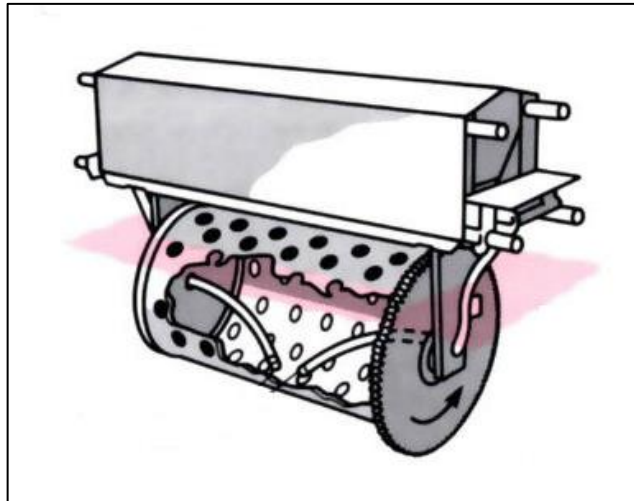


Figura 13 Esquema general de Tambor para electrodeposición. [29]

La forma de incorporación del Zn en las piezas a recubrir se representa en la figura 14 donde se observa que la superficie con mejor exposición a los iones metálicos son las exteriores.

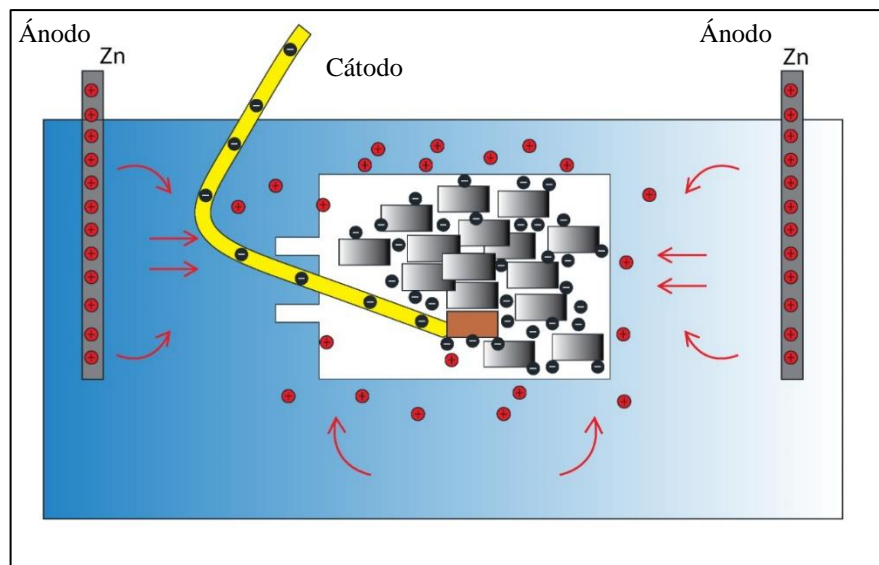


Figura 14 Esquema de incorporación de iones metálicos en un tambor [Autor].

Rack

Es una estructura fabricada de un metal conductor principalmente de cobre, el cual posee varios ganchos ubicados en diferentes niveles de acuerdo a la profundidad de la cuba electrolítica se podrá colocar racks más grandes. Este va suspendido desde un soporte de cobre el mismo que hace las funciones de conductor del polo negativo del rectificador de corriente DC.

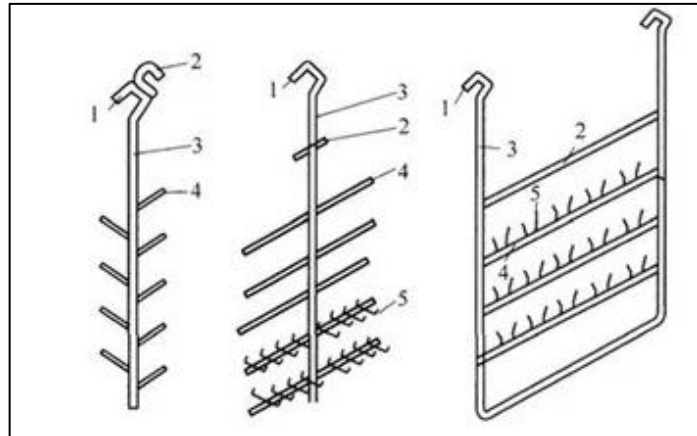


Figura 15 Esquema general de Rack para electrodeposición. [30]

En el rack los pequeños soportes de cobre donde van introducidas las piezas forman una especie de antena receptora la cual direcciona a los iones metálicos a que se agrupen en un punto focal. Dando lugar a que la superficie interna de una pieza cilíndrica tenga más uniformidad en la adherencia de la capa de recubrimiento.

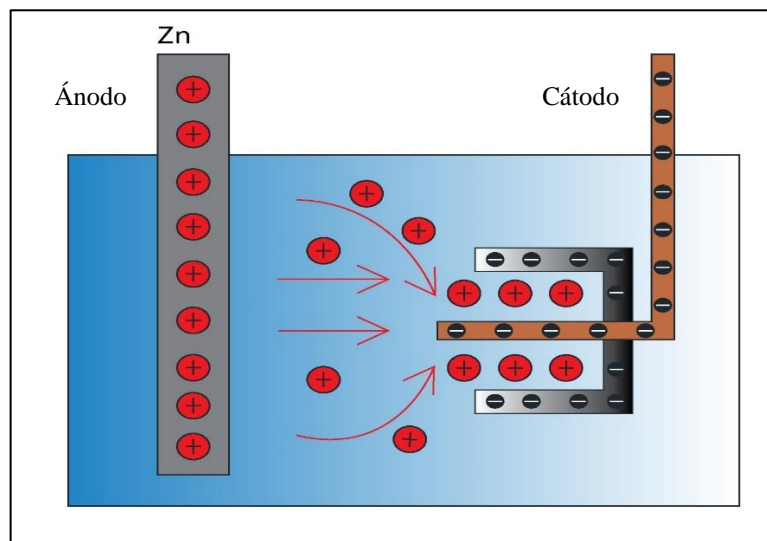


Figura 16 Esquema de incorporación de iones metálicos en un rack [Autor].

1.10.8 Generalidades del recubrimiento anticorrosivo de Zinc en Acero

Los estándares del proceso de electrodeposición de Zinc sobre un acero como metal base están descritas en la norma ASTM B633[13] donde menciona, para diferentes ambientes, el espesor óptimo de recubrimiento de Zinc que se deberá emplear en el proceso.

Tabla 5 Espesores mínimos según su lugar de servicio.

Clasificación	Condición de Servicio	Espesor min (µm)
Fe/Zn 25	Muy Severo (SC4)	25
Fe/Zn 12	Severo (SC3)	12
Fe/Zn 8	Moderado (SC2)	8
Fe/Zn 5	Leve (SC1)	5

Fuente: [13].

El tiempo de vida útil del recubrimiento de Zinc viene dado por el espesor de la capa y por el medio ambiente en el cual va a estar expuesto, por ello es muy difícil poder predecir exactamente un tiempo de vida. A lo largo de los años la ASTM y otras organizaciones alrededor de mundo han conducido una enorme cantidad de pruebas, de esta información recopilada se ha podido obtener datos bastantes asertivos sobre la vida del recubrimiento de Zinc en el acero como metal base.

Tabla 6 Razón de corrosión según el lugar de servicio.

Atmosfera	Razón de corrosión (µm/año)
Industrial	5.6
Urbano o marino	1.5
Suburbano	1.3
Rural	0.8
Interiores	Menos de 0.5

Fuente: [13].

1.10.9 Tiempo de Inmersión

El tiempo de inmersión tiene relación directa con el espesor de recubrimiento que se desea lograr, es importante tener en cuenta varios aspectos del material de recubrimiento, así como también el nivel de eficacia global del electrolito que se vaya a emplear para el proceso. La siguiente formula es utilizada para determinar el tiempo necesario de inmersión de las piezas a recubrir en el electrolito.

$$t = \frac{e * \rho_{zn} * 10}{\varepsilon * \rho_i * n_g} \quad \text{Ec. (1.9)}$$

Donde:

t Tiempo (h)

e Espesor del recubrimiento (mm)

ρ_{zn} Densidad del metal del recubrimiento (g/cm³)

ε Equivalente electroquímico (g/A*h)

ρ_i Densidad de corriente (A/dm²)

n_g Eficacia global del electrolito

1.10.10 Celda de Hull

La celda de hull fue patentada por Richard O. Hull en 1935, esta herramienta fue pensada para dar una relación de los parámetros del electrolito con un tanque o tina de mayor volumen, sus dimensiones como se muestran en la figura 17, es de un total de 267ml de electrolito, donde por cada 2g de solución aumentada a la celda de hull esta representa 1 oz. por galón (3.78 Litros) en el tanque donde se va a realizar el proceso real de electrodeposición [31].

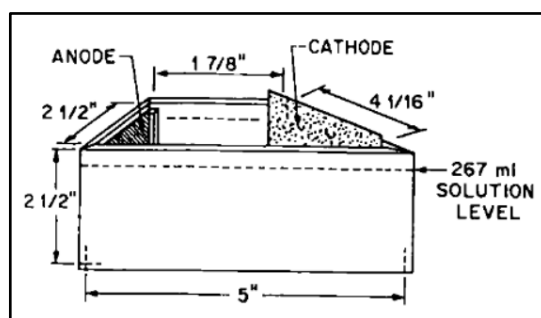


Figura 17 Representación de la Celda de Hull [31].

El control del proceso de electrodeposición se puede lograr realizando mediciones directas a la solución en sí, donde los parámetros cuantificables y que influyen directamente son la temperatura, densidad de corriente, concentración del metal, el pH de la solución etc. O con mediciones indirectas y relaciones de las propiedades de la electrodeposición del ánodo en el cátodo como por ejemplo el brillo, porosidades, uniformidad y suavidad. Con la celda de hull se puede cuantificar estas relaciones y corregir las desviaciones para obtener un proceso óptimo.

En la figura 18 se puede observar los diferentes resultados y sus relaciones de desviaciones que se podría obtener en el proceso de electrodeposición.

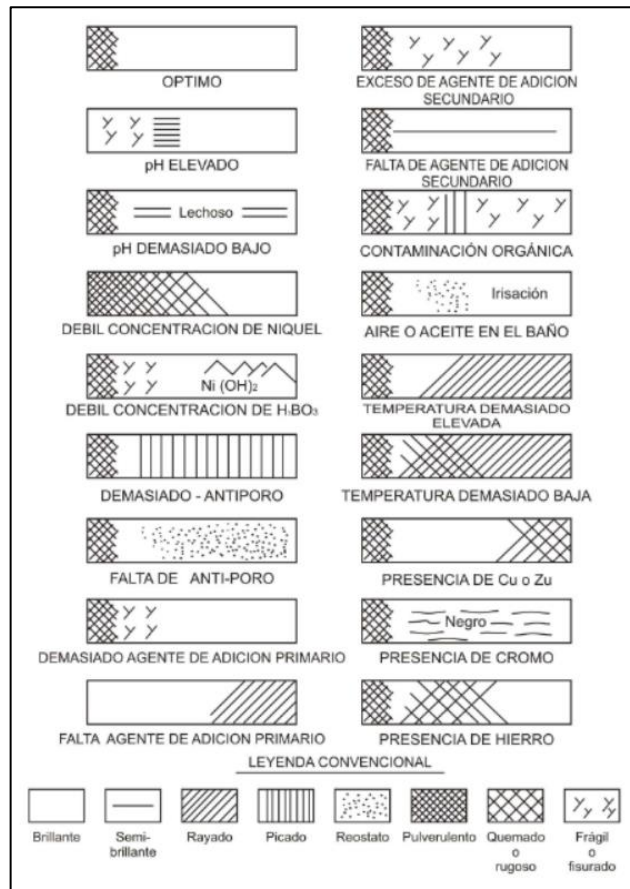


Figura 18 Diferentes resultados de la Celda de Hull [32].

Una de las grandes ventajas de realizar los ensayos en la celda de hull, es que, si se realizan a una intensidad de corriente constante, debido a la disposición no paralela entre el ánodo y cátodo esto dará como resultado una variación progresiva de la densidad de corriente a lo largo del cátodo. Con ello podemos obtener varios resultados de una escala de densidades de corriente en una misma probeta.

La calibración de la celda de hull se logra a través de perfiles de grosor y asumiendo eficiencias de corriente apropiadas, esto sobre un cátodo dividido en franjas y mediciones de corriente que llegan a cada franja. Con este análisis se logró llegar a una curva de calibración (Figura 19) [31].

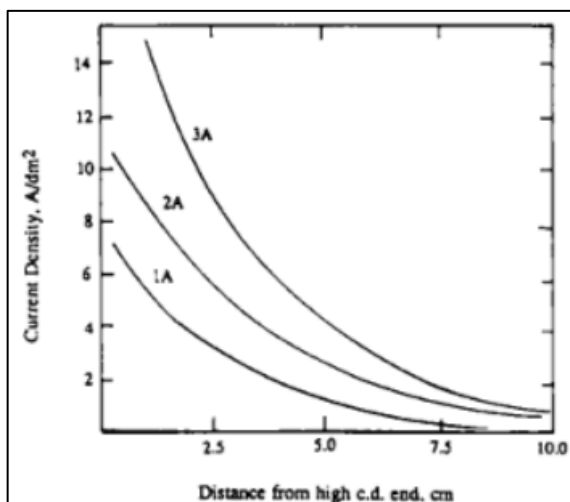


Figura 19 Curva de calibración de 3 corrientes aplicadas [31].

La curva que tiene la relación de densidad de corriente (A/dm^2) por la distancia particular de una sección del cátodo con respecto del ánodo, es gobernada por la siguiente ecuación.

$$i_{(L)} = I_{appl} * (a - b * \log L) \quad \text{Ec. (1.10)}$$

Donde $i_{(L)}(A/dm^2)$ es la intensidad de corriente a una distancia L determinada, I_{appl} (A) es la corriente aplicada en la celda. Según Richard Hull[31] a y b son factores de calibración siendo estos de 27.7 y 48.7 para unidades A/ft^2 , o de 5.10 y 5.24 respectivamente para unidades A/dm^2 , quedando de la forma.

$$i = I * (5.10 - 5.24 * \log L) \quad \text{Ec. (1.11)}$$

1.10.11 Corrosión acelerada

Con el fin de evaluar el recubrimiento anticorrosivo en las probetas, es necesario un método que permita la recopilación de información sobre la degradación corrosiva de la capa de zinc. Los ensayos de corrosión acelerada en cámaras de niebla salinas son una solución acertada para esta evaluación ya que proporciona una simulación de un ambiente salino altamente corrosivo en una fracción del tiempo que este tomaría en la vida real.

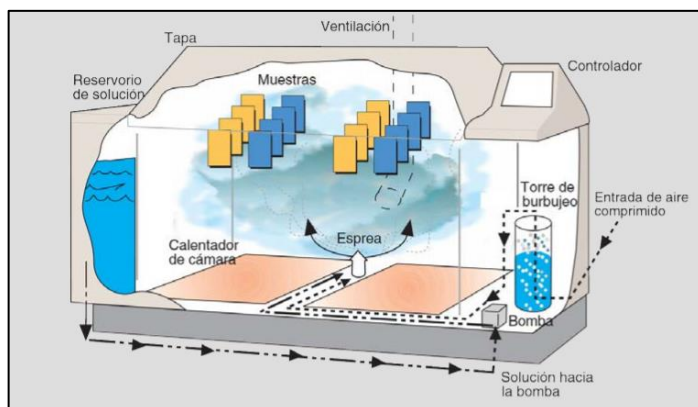


Figura 20 Esquema de cámara salina [33].

Las cámaras de niebla salina son ampliamente utilizadas a nivel industrial para probar la eficacia de los diferentes recubrimientos anticorrosivos, así como también tienen el respaldo de los lineamientos necesarios para llevarse a cabo en la norma ASTM-B117[34] a la cual este trabajo se ha referido para obtener los parámetros. Esta prueba se realizará disolviendo 5+/- 1 partes de Cloruro de Sodio en 95 partes de agua teniendo especial atención en que el NaCl no debe contener más del 0.3% de impurezas por su masa, con un pH de 6.5 a 7.2 como recomendación la norma nos dice que el pH de la solución debe ser medido a 23+/- 3°C, la temperatura de la cámara será de 35°C+/-2°C con ello se simula una atmosfera corrosiva marina.

Para poder evaluar los resultados de las probetas sometidas a la cámara de niebla salina la norma NTE INEN 1176:2013[16] establece una forma numérica de clasificación que indica la capacidad de protección del recubrimiento basado en el aspecto general de las muestras tomadas. El resultado de la inspección de la superficie tendrá 2 calificaciones separadas la primera será la Clasificación de la protección (Rp) y la segunda la Clasificación de la apariencia (Ra).

Siendo Rp:

$$Rp = 3 * (2 - \log A) \quad \text{Ec. (1.12)}$$

Donde A es el porcentaje del metal base que presenta corrosión.

La norma estipula una tabla donde relaciona el porcentaje de la superficie que tiene defectos para poder ubicar Rp o Ra.

SUPERFICIE DEFECTUOSA A (%)	R_p o R_A
Sin defectos	10
0 < A ≤ 0,1	9
0,1 < A ≤ 0,25	8
0,25 < A ≤ 0,5	7
0,5 < A ≤ 1,0	6
1,0 < A ≤ 2,5	5
2,5 < A ≤ 5,0	4
5,0 < A ≤ 10	3
10 < A ≤ 25	2
25 < A ≤ 50	1
50 < A	0

Figura 21 Clasificación de la protección R_p y apariencia R_A [16].

Así como también los tipos del recubrimiento deteriorado al cual se les asigna una letra dependiendo de su daño. Como resultado final de la evaluación se expresará como el siguiente ejemplo; Muestra de corrosión del metal base en un 0.1% del área total, y donde el 20% de la superficie esta manchada: 9/2A [16].

A	Mancha y/o decoloración debida al deterioro del recubrimiento (distintos aquellos que obviamente son productos de la corrosión del metal base)
B	Deslustre con poca o nula corrosión visible del recubrimiento
C	Productos de corrosión de un recubrimiento anódico
D	Productos de corrosión de un recubrimiento catódico
E	Picaduras de la superficie (picaduras de corrosión que probablemente no llegan hasta el metal base)
F	Desconchado
G	Ampollas
H	Fisuras
I	Cuarteamiento
J	Pata de gallo o defectos en forma estrella

Figura 22 Tipos de deterioros del recubrimiento [16].

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales y Equipos

2.1.1 Materiales

2.1.1.1 Capsulas R-1 3/16

Las Capsulas R-1 3/16 es el nombre con el que se le conoce al producto dentro de la empresa Impofreico, fabricado de acero AISI 12L14 este material posee una gran maquinabilidad y terminación superficial, es usado principalmente en líneas de producción automáticas de gran volumen donde se busca tolerancias estrechas y acabado fino como por ejemplo de piezas automotrices, ejes, tuercas, piezas de relojería entre otros. Tiene excelentes características para la galvanoplastia ya sea zincado, cromado o niquelado, debido a su composición química no es recomendable dar tratamientos térmicos. Seleccionando este tipo de acoples debido a que presenta el mayor porcentaje de corrosión prematura en su superficie interna debido a que el recubrimiento de zinc no se deposita efectivamente en la superficie irregular que este presenta.

Tabla 7 Propiedades Mecánicas y Químicas AISI 12L14

Acero AISI 12L14	
Propiedades Mecánicas	
Dureza Brinell	121
Dureza Rockwell B	68
Sut	395 MPa
Sy	235 MPa
% de Elongación	22%
Módulo de elasticidad	200 GPa
Poisson	0.29
Módulo de cizalladura	80.0 GPa
Composición Química	
Carbono, C	<= 0.15 %
Hierro, Fe	97.91 - 98.7 %
Plomo, Pb	0.15 - 0.35 %
Manganeso, Mn	0.85 - 1.15 %
Fosforo, P	0.040 - 0.090 %
Azufre, S	0.26 - 0.35 %

Fuente:[35].

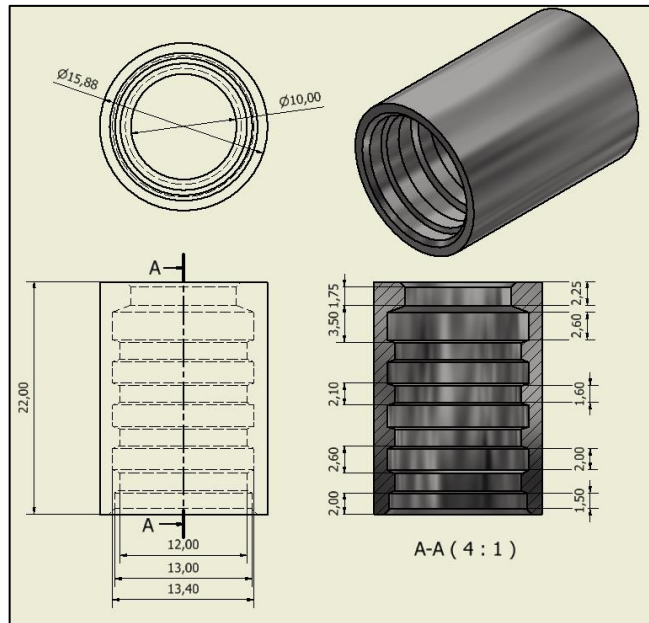


Figura 23 Características de Capsula R-1 3/16 [Autor].

2.1.1.2 Cloruro de Zinc

Es un compuesto químico cuya fórmula es $ZnCl_2$, tiene varias aplicaciones en procesos industriales. Para el proceso de galvanizado electrolítico sirve como decapante y catalizador.

2.1.1.3 Cloruro de Potasio

Es un compuesto químico cuya fórmula es KCl , este compuesto es muy versátil tanto en la metalurgia como en la medicina. En el galvanizado actúa como fundente para el electrolito.

2.1.1.4 Ácido Bórico

Es un compuesto químico cuya fórmula es H_3BO_3 , este actúa como agente regulador del pH del electrolito para poder obtener un baño ácido.

2.1.1.5 Abrillantador

Son aditivos que mejoran la apariencia final de la pieza galvanizada, este inhibe el crecimiento de puntas en la adhesión del metal de zinc en la superficie del metal base. Se componen principalmente de sacarina sódica, urea, sulfuro de sodio, carboximetilcelulosa y azúcares, la formulación depende de cada casa comercial en este proyecto se utilizará Galvasil brillo de la empresa Galvano de la ciudad de Quito

2.1.1.6 Humectante

Son sustancias orgánicas como tenso reactivos y aditivos reductores que reduce la tensión superficial en las burbujas de hidrogeno con lo que facilitan el desprendimiento del mismo. La formulación depende de cada casa comercial en este proyecto se utilizará Galvasil base de la empresa Galvano de la ciudad de Quito.

2.1.1.7 Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)

Es la solución que forma parte del proceso de decapado donde se eliminan el óxido del acero, las impurezas y aceites que puedan estar pegados en las paredes del acople a galvanizar. Se utiliza una concentración del 10% al 20% diluida en agua a una temperatura de 20°C a 50°C.

2.1.1.8 Zinc

Es el elemento químico principal, el cual se utiliza para recubrir la pieza metálica que requiere protección anticorrosiva. La deposición de zinc se generará mediante el intercambio de electrones entre metales mediante el electrolito. Las placas de Zinc serán 99.99% puras para tener una excelente eficiencia.

Tabla 8 Composición Química Zinc.

SHG Grado Alto - ASTM B6-13		
Pb	0.003 máx.	Contenido de Zinc Puro Zn = 99.99%
Fe	0.003 máx.	
Cd	0.003 máx.	
Al	0.002 máx.	
Cu	0.002 máx.	
Ti	0.001 máx.	
Total - máximo de compuestos	0.010 máx.	

Fuente: [36].

2.1.2 Equipos

2.1.2.1 Celda de Hull

Para determinar un óptimo electrolito se utiliza una celda de hull que posee agitación por aire proveniente de una bomba dedicada que puede producir 2.5L/min de caudal de aire, así como también temperada por un sistema de calefacción a 20°C.

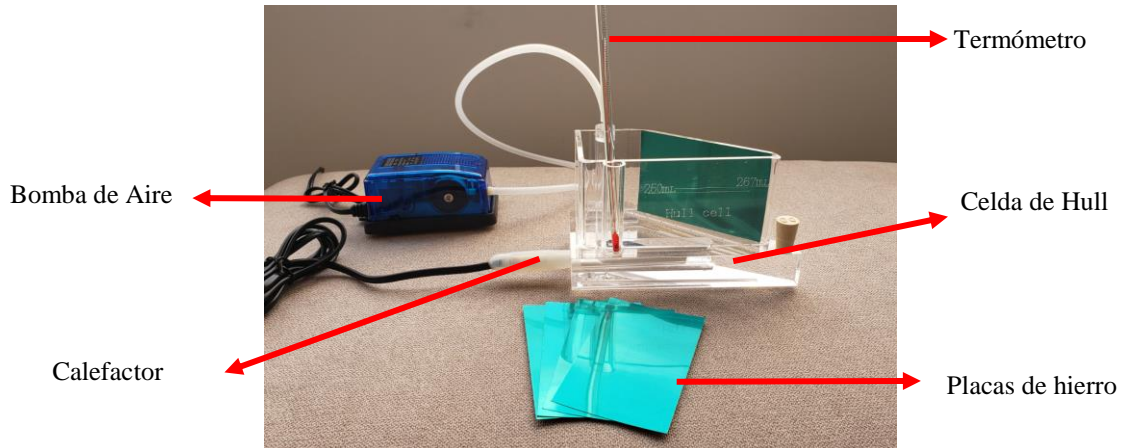


Figura 24 Celda de Hull, con agitación por aire y termo regulada [Autor].

2.1.2.2 Rectificador de corriente DC

El rectificador de corriente es una fuente de electricidad variable con capacidad de 0 – 30V y 0 – 10A el mismo que ayudara a tener mejor control del voltaje y amperaje suministrado al proceso



Figura 25 Rectificador de corriente directa [Autor].

2.1.2.3 Cuba electrolítica

Recipiente prototipo de plástico PVC que alberga al menos 10lt, donde será depositado el electrolito, aquí se producirá el proceso de galvanizado electrolítico del Zn en el Fe.



Figura 26 Cuba electrolítica de 10lt con electrolito [Autor].

2.1.2.4 Rack

Es una herramienta que permite ubicar las piezas dentro del electrolito para el galvanizado en una disposición determinada, es de cobre ya que debe ser buen conductor eléctrico ya que por él pasará la corriente directa que dará paso a la deposición del zinc en la pieza.



Figura 27 Rack prototipo fabricado [Autor].

2.1.2.5 Tambor

Fabricado de plástico y con una masa de cobre para conducir la corriente en las piezas depositadas en su interior, el tambor es un dispositivo utilizado en la inmersión de piezas en el electrolito para su recubrimiento de protección anticorrosiva

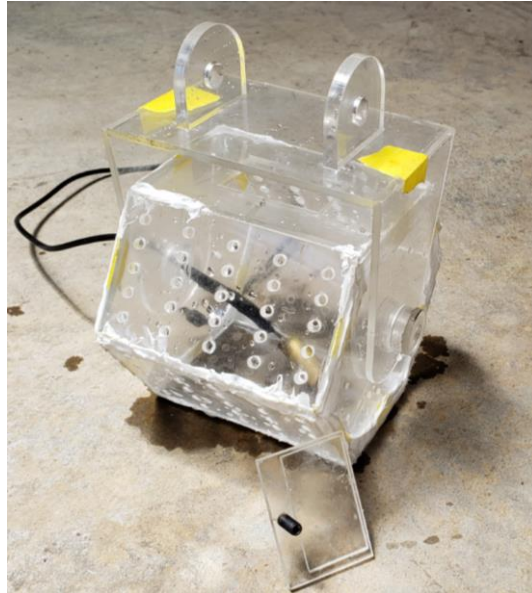


Figura 28 Tambor prototipo fabricado [Autor].

2.1.2.6 Sistema de agitación

Una bomba de aire permitirá el movimiento del electrolito por medio de burbujas que agitaran dicho fluido con el fin de mezclar los componentes químicos, así como también que exista mayor contacto de los iones de zinc con el metal base. La capacidad de la bomba es de 5 l/min.



Figura 29 Bomba de aire para agitación del electrolito [Autor].

2.1.2.7 Cámara de niebla salina

Este equipo es utilizado para realizar las pruebas de corrosión acelerada en conformidad a la norma INEN 1 176 para poder determinar el grado de protección anticorrosivo del recubrimiento electrolítico. El centro de fomento productivo metalmecánico carrocerero posee este tipo de equipo.



Figura 30 Cámara de corrosión acelerada Centro Carrocero [37].

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de investigación

2.2.1.1 Bibliográfica

En la presente investigación se utiliza el método bibliográfico ya que, basados en libros, investigaciones científicas, normas y fichas técnicas se establecen los lineamientos y parámetros que forman parte de todo el proceso de galvanizado electrolítico.

2.2.1.2 Experimental

Además, se aplican métodos experimentales factoriales donde se manipularán los niveles de las variables, para observar los resultados de correlación que existen entre las diferentes variables independientes y su incidencia en la calidad final del recubrimiento de Zinc en los acoples de acero.

2.2.2 Nivel de investigación

2.2.2.1 Exploratoria

Un nivel exploratorio de la presente investigación permitirá analizar la corrosión prematura en superficies internas de piezas maquinadas en tornos CNC que ha sido poco estudiado, para poder establecer que influencia tienen las variables independientes en el grado de protección corrosiva a los objetos de análisis.

2.2.2.2 Correlacional

El propósito fundamental de la investigación es examinar la relación que existe entre las variables mediante la manipulación de sus niveles, así como también demostrar su influencia en el resultado de protección anticorrosiva de las piezas de análisis.

2.3 Población y Muestra

2.3.1 Población

Se analiza como población de nuestra investigación, a la producción de acoples “CAPSULA R1 3/16” ejecutada por el torno CNC tipo suizo de la empresa Impofreico, la cual puede fabricar hasta 110 acoples diarios.

2.3.2 Muestra

La muestra en nuestro estudio debe ser lo suficientemente grande como para representar la población, para determinar un nivel óptimo por procedimientos estadísticos matemáticos se emplea la siguiente formula:

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{(N - 1) * E^2 + (z^2 * p * q)} \quad \text{Ec. (2. 1)}$$

Donde:

n La muestra a calcular

N La población establecida

z Se obtiene de tablas para una confianza del 95% y es de 1.96

p La probabilidad que ocurra el suceso, que es del 40% (0.4) de producto oxidado

q La probabilidad que no ocurra el suceso, siendo 60% (0.6) el producto bueno

E El error que se estima tener en la muestra, se quiere tener el 0.1, esto quiere decir 1 error cada 10 muestras.

$$n = \frac{110 * 1.96^2 * 0.4 * 0.6}{(110 - 1) * 0.1^2 + (1.96^2 * 0.4 * 0.6)}$$

$$n = 50.4$$

La toma muestral calculada es de 51 especímenes para cada experimento. Debido al tamaño de la cuba y el arreglo geométrico que se necesita para los experimentos se tomaran 10 especímenes para cada prueba. El experimento factorial es de orden 2^3 por lo que nos da 8 experimentos, se realizara 3 repeticiones con lo que se necesita 240 acoples R-1 3/16 para el estudio.

2.4 Operacionalización de Variables

2.4.1 Variable dependiente

Grado de protección anticorrosiva de superficies internas

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Resistencia a la corrosión atmosférica del recubrimiento metálico de Zinc depositado por medio de galvanizado electrolítico en un medio ácido	Inspección superficial	Clasificación de protección (Rp)	A mayor valor Ra y Rp mejor es el producto obtenido	<ul style="list-style-type: none"> - Observación directa - Cámara de niebla salina - Procedimiento estipulado en NTE INEN 1176:2013
	Verificación Dimensional	Clasificación de apariencia (Ra)		
		Diámetros de los acoples	<ul style="list-style-type: none"> Ajustes 10H8 agujero Tolerancia + 0.15 mm 	

2.4.2 Variable Independiente

Parámetros del proceso del galvanizado electrolítico

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El galvanizado electrolítico es un proceso mediante el cual se puede realizar recubrimientos metálicos sobre un metal base mediante un intercambio de electrones resultantes de la interacción de un electrolito con un flujo de corriente, el resultado ofrece una protección catódica a la corrosión atmosférica.	Configuración geométrica de distribución en la cuba.	Distribución por volumen	Distribución: - Rack - Tambor	- Observación directa - Método experimental - Análisis de datos en rack y tambor
	Uniformidad de composición química del electrolito	Aplicación de medios de agitación mecánica por aire en el electrolito.	Agitación: - Con agitación - Sin agitación	- Observación directa - Método experimental - Análisis de datos con variación de agitación
	Duración del proceso electroquímico	Tiempos de sumersión de las piezas.	Tiempos: - Mínimo 27 min - Máximo 41 min	- Observación directa - Método experimental - Análisis de datos variación de tiempos

2.5 Recolección de la información

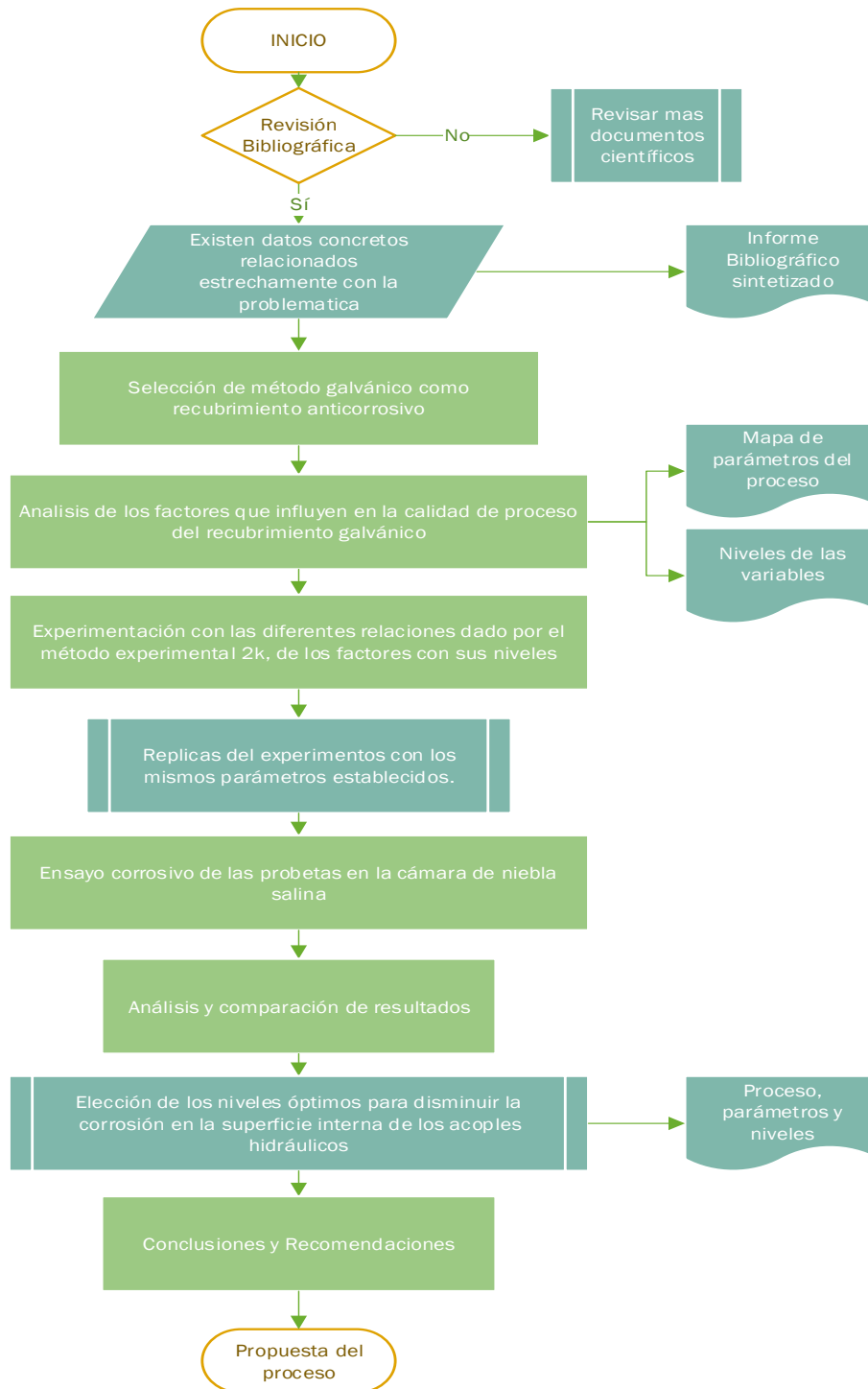


Figura 31 Flujograma del plan de recolección de información [Autor].

2.6 Procesamiento y análisis

Tabla 9 Matriz de pasos de procesamiento y análisis de datos.

INICIO	QUE SE OBTIENE	QUE MÉTODO
<p>Revisión bibliográfica actuales y con relevancia que aborden al galvanizado electrolítico y sus parámetros de proceso</p>	<p>- Informe bibliográfico</p>	<p>- Análisis y síntesis; con ello se facilita la comprensión de las variables, y se sintetiza el conocimiento relevante para la investigación</p> <p>- Análisis documental; clasificación del impacto del documento a consultar.</p> <p>- Análisis histórico lógico; con ello se conoce la evolución de los estudios que se han llevado a cabo para tratar a una problemática común</p>
<p>Análisis teórico del sistema y determinación de los parámetros influyentes en la calidad del recubrimiento del galvanizado electrolítico</p>	<p>- Mapa de parámetros - Niveles óptimos</p>	<p>- Análisis y síntesis; para determinar parámetros base de las variables a estudiar dentro del galvanizado electrolítico.</p> <p>- Análisis del proceso; se estudia su afectación e incidencia.</p>

<p>Diseño experimental, basados en el tipo factorial 2k con sus respectivas replicas, con el fin de encontrar el nivel óptimo de sus factores y su incidencia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de variables - Toma de datos de los resultados 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis Experimental; Se estudia el proceso de galvanizado electrolítico para conocer el comportamiento del objeto. - Observación Científica; determinación de la incidencia real de las variables en el proceso de galvanizado electrolítico. - Medición; comparación del nivel de protección anticorrosiva
<p>Propuesta de tecnología para un galvanizado electrolítico adecuado para superficies internas de acoples hidráulicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Documento detallado del proceso y sus parámetros 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis y síntesis; descomposición de sus variables y límites para elaborar un procedimiento detallado del proceso

Fuente: Autor.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis e interpretación de resultados

En el presente trabajo de investigación se desarrolla el siguiente flujograma de procesos para el desarrollo y análisis de los resultados

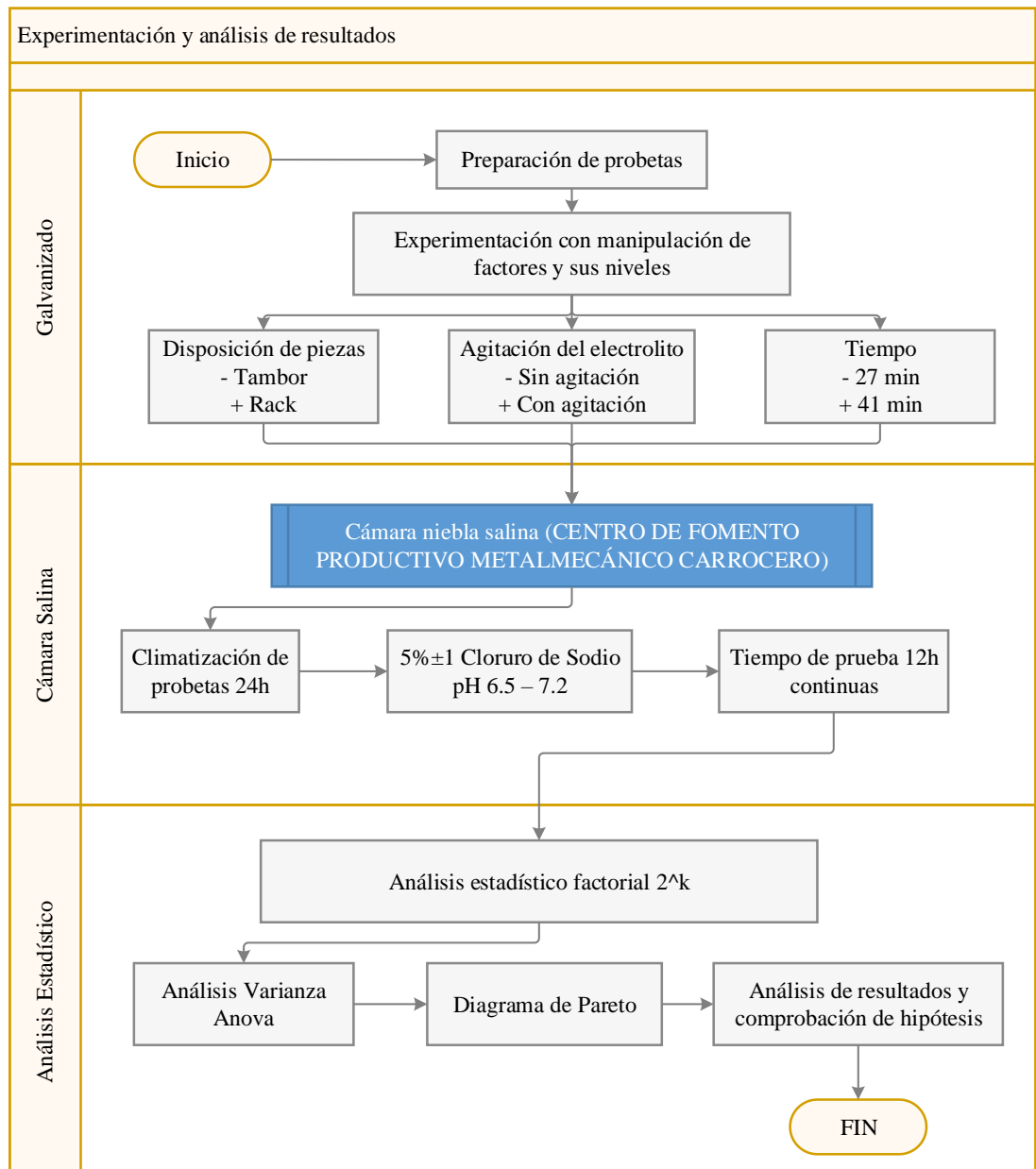


Figura 32 Flujograma del tratamiento para las probetas [Autor].

3.1.1 Obtención de acoples maquinados en CNC

La obtención de los acoples “Capsula R-1 3/16” se realizó de manera aleatoriamente de distintos lotes de producción diaria a lo largo de dos semanas hasta obtener los 240 especímenes necesarios para las 8 pruebas a realizar con sus 3 repeticiones correspondientes. Dado que la producción es computarizada bajo comandos numéricos el producto tendrá las mismas características siempre con variaciones de medidas de 0.1mm que son las tolerancias de la maquina CNC que posee la empresa Impofreico y para el estudio del recubrimiento de zinc esto es despreciable.

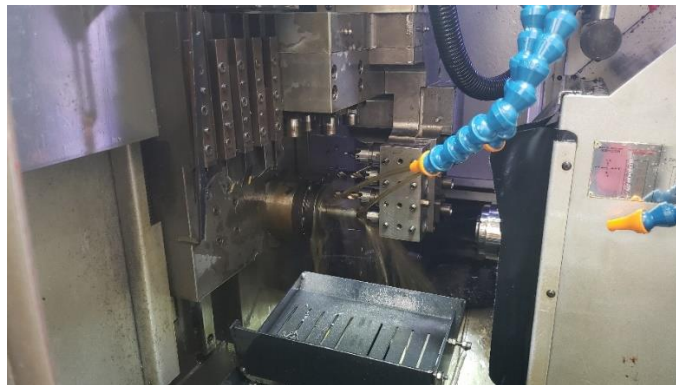


Figura 33 Proceso de producción de la Capsula R-1 3/16 [Autor].

3.1.2 Proceso de dosificación del electrolito

Por medio de la celda de Hull se llevó a cabo la dosificación óptima de los componentes que integran el electrolito. Por medio de la ecuación Ec. (1.11) se determinó la densidad de corriente necesaria para el proceso. Las probetas resultantes de varios experimentos y su comparación con los defectos más comunes y sus posibles razones representados en la figura 18, determinaron los requerimientos óptimos para el baño electrolítico dejando de la siguiente manera la dosificación:

Tabla 10 Parámetros de trabajo y electrolito.

Componente	Óptimo
Cloruro de zinc	75 g/l
Cloruro potásico	210 g/l
Ácido bórico	35 g/l
Humectante	80 ml/l
Abrillantador	0.7 ml/l
pH	5.1
Condiciones de trabajo:	
Temperatura	20 °C
Densidad corriente	2.7 A/dm ²

Fuente: Autor.

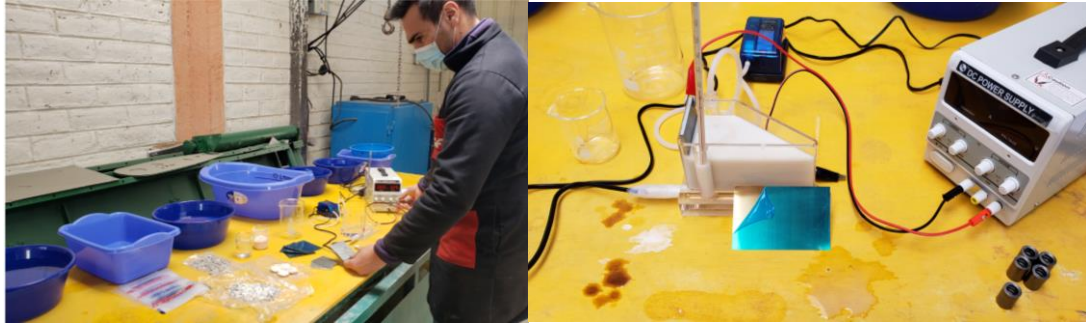


Figura 34 Dosificación en Celda de Hull [Autor].



Figura 35 Experimentos Celda de Hull - Probetas de 1 al 4 [Autor].

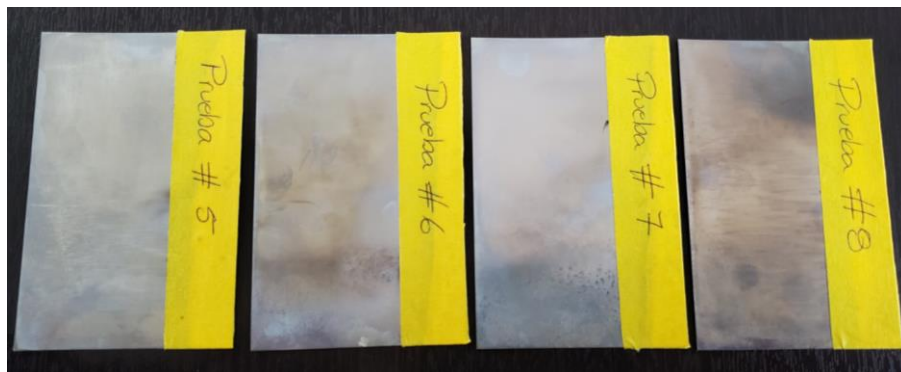


Figura 36 Experimentos Celda de Hull - Probetas de 5 al 8 [Autor].

3.1.3 Proceso de limpieza de piezas salida del CNC

Debido a que el CNC utiliza aceite mineral de corte, este queda adherido a todas las muestras. Se emplea un desengrasante genérico para eliminar dicho aceite, el proceso se realiza agitando el producto envuelto en una malla de metal dentro del desengrasante por 15 min pudiendo este puede aumentar según la cantidad de piezas y aceite que se encuentre adherido. Posterior a esto se elimina cualquier impureza en una cuba de agua limpia.

3.1.4 Decapado de las muestras

Debido a que el acero queda expuesto a la atmosfera sin ningún recubrimiento de protección, este tiende a corroerse por lo que es necesario eliminar todo rastro de óxido previo al galvanizado electrolítico. Para esto se utiliza ácido sulfúrico al 10% de concentración diluido en agua por al menos 30 minutos, este lapso de tiempo puede aumentar dependiendo del grado de corrosión que exista en las superficies de los acoples. El ácido debe ser neutralizado para evitar cambios en el electrolito debido a este químico por lo que se procede a limpiar con agua en 2 paso previos a la inmersión en el baño electrolítico.

3.1.5 Galvanizado electrolítico de Zinc sobre Acero

Las concentraciones del baño electrolítico se utilizará el baño acido descritos anteriormente por sus ventajas. Se manipulará las variables de disposición de las probetas, agitación del electrolito y tiempo de inmersión.

3.1.5.1 Disposición de las probetas

La empresa Impofreico posee actualmente un tambor donde se depositan las piezas para el galvanizado electrolítico sin embargo se estudió previamente que otra forma de arreglo es mediante un Rack, por lo que es importante analizar estos dos tipos y su incidencia.

3.1.5.2 Sistema de agitación de electrolito

La agitación del electrolito se realiza por medio de una bomba de aire que inyecta burbujas a la solución provocando el movimiento del mismo, esto conlleva a un mejor contacto con los iones de zinc con el metal base en este caso las Capsulas R-1 3/16.

3.1.5.3 Cálculo de tiempo estándar de inmersión de las probetas

Para obtener el tiempo de inmersión necesario para lograr el recubrimiento de Zinc deseado, primero se requiere conocer el entorno al que va a ser sometido el elemento. En la norma ASTM B633 establece una escala de espesores mínimos según las condiciones de exposición, se toma como referencia la más crítica en un entorno severo donde el espesor mínimo requerido es de 25 μm .

Datos

Peso atómico zinc = 65.38 g

Valencia zinc = 2

$$e = 25 \mu m = 0.025 mm$$

$$F = 96500 \text{ culombios} * mol^{-1} = 26.8055 A * h$$

$$\rho_{zn} = 7140 \frac{kg}{m^3} = 7.14 \frac{g}{cm^3}$$

$$ng = 95\% = 0.95$$

Aplicando la ecuación Ec. (1.7) para obtener el equivalente químico o peso equivalente (Eq)

$$Eq = \frac{65.38g}{2} = 32.69 g$$

Aplicando la ecuación Ec. (1.5) para obtener el equivalente electroquímico (ε)

$$\varepsilon = \frac{32.69 g}{26.8055 A * h} = 1.2195 \frac{g}{A * h}$$

Aplicando la ecuación Ec. (1.9) para obtener el tiempo de inmersión en el electrolito para 2,7 A/dm².

$$t = \frac{0.025 mm * 7.14 \frac{g}{cm^3} * 10}{1.2195 \frac{g}{A * h} * \frac{2.7A}{dm^2} * 0.95}$$

$$t = 0.2853 h = 34.24 min$$

Para observar la incidencia del tiempo en la calidad de recubrimiento interno se propone calcular el tiempo para recubrir $\pm 5\mu m$, con ello se obtiene los 2 niveles del factor a partir del tiempo estándar para $25\mu m$, donde quedaría como tiempo mínimo de 27 min y máximo de 41 min.

3.1.5.4 Calculo teórico de masa de Zinc depositado en probetas

Con los tiempos estándar calculados, se puede obtener cuantos gramos de Zinc se van a depositar en los acoples para determinado tiempo aplicando la ecuación Ec.(1.8).

$$m_{25\mu m} = \frac{32.695 g * 0.6252 A * (34 min * 60)}{2 * 96500 A * s}$$

$$m_{25\mu m} = 0.435 g$$

Así mismo se aplica la formula con los tiempos de 27 min y 41 min para obtener los pesos teóricos del Zinc depositado que serían 0.343g y 0.521g respectivamente.

3.1.6 Resumen clasificación de apariencia y protección INEN

Para la clasificación cualitativa de los experimentos se utiliza la norma INEN 1176 donde da valores numéricos y alfabéticos a los defectos para así poder cuantificarlos.

Tabla 11 Clasificación de la protección Rp y de apariencia Ra

Superficie defectuosa A(%)	Rp o Ra
Sin defectos	10
$0 < A \leq 0.1$	9
$0.1 < A \leq 0.25$	8
$0.25 < A \leq 0.5$	7
$0.5 < A \leq 1.0$	6
$1.0 < A \leq 2.5$	5
$2.5 < A \leq 5.0$	4
$5.0 < A \leq 10$	3
$10 < A \leq 25$	2
$25 < A \leq 50$	1
$50 < A$	0

Fuente: [16].

Tabla 12 Tipos de deterioros del recubrimiento

A	Mancha y/o decoloración debida al deterioro del recubrimiento (distintos aquellos que obviamente son productos de la corrosión del metal base)
B	Deslustre con poca o nula corrosión visible del recubrimiento
C	Productos de corrosión de un recubrimiento anódico
D	Productos de corrosión de un recubrimiento catódico
E	Picaduras de la superficie (picaduras de corrosión que probablemente no llegan hasta el metal base)
F	Desconchado
G	Ampollas
H	Fisuras
I	Cuarteamiento
J	Pata de gallo o defectos en forma de estrella

Fuente: [16].

3.1.7 Estructura de experimentación

Siendo un esquema de experimento factorial 2^3 con 3 repeticiones, la correlación de variables en la práctica estará establecido de la siguiente manera como se muestra en el cuadro.

Tabla 13 Estructura de experimentos.

Variables con sus niveles					
Disposición de Piezas (A)		Agitación de electrolito (B)		Tiempo (min) (C)	
A1	A2	B1	B2	C1	C2
Tambor	Rack	Sin Agitación	Con Agitación	27	41
-1	1	-1	1	-1	1
Estructura de experimentación					
Toma de Muestras	Tiempo	Tambor(A1)		Rack(A2)	
		Sin Agitación (B1)	Con Agitación (B2)	Sin Agitación (B1)	Con Agitación (B2)
T1	27min (C1)	A1B1C1T1	A1B2C1T1	A2B1C1T1	A2B2C1T1
	41min (C2)	A1B1C2T1	A1B2C2T1	A2B1C2T1	A2B2C2T1
T2	27min (C1)	A1B1C1T2	A1B2C1T2	A2B1C1T2	A2B2C1T2
	41min (C2)	A1B1C2T2	A1B2C2T2	A2B1C2T2	A2B2C2T2
T3	27min (C1)	A1B1C1T3	A1B2C1T3	A2B1C1T3	A2B2C1T3
	41min (C2)	A1B1C2T3	A1B2C2T3	A2B1C2T3	A2B2C2T3

Fuente: Autor.

Para el desarrollo de ANOVA la tabla de estructura quedaría de la siguiente forma:

Tabla 14 Estructura experimental para desarrollo ANOVA.

Bloques	A	B	C	Respuesta Y	Interacción
1	-1	-1	-1	Y_{111}	0
2	1	-1	-1	Y_{211}	a
3	-1	1	-1	Y_{121}	b
4	1	1	-1	Y_{221}	ab
5	-1	-1	1	Y_{112}	c
6	1	-1	1	Y_{212}	ac
7	-1	1	1	Y_{122}	bc
8	1	1	1	Y_{222}	abc

Fuente: Autor.

3.1.8 Datos obtenidos de la experimentación

3.1.8.1 Experimento 1




Disposición Tambor, sin agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 15 Valores Ra y Rp del Experimento 1.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	1	10.05	10.05
2	0	G	2	10.08	10.08
3	1	A	2	10.03	10.02
4	1	G	2	10.05	10.06
5	0	A	1	10.10	10.10
6	1	G	2	10.08	10.05
7	0	A	2	10.10	10.08
8	0	A	2	10.06	10.05
9	0	A	2	10.05	10.05
10	0	G	3	10.08	10.07
Promedio	0.3	A	1.9	10.068	10.061

Fuente: Autor.

Tabla 16 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 1.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.2 Experimento 2




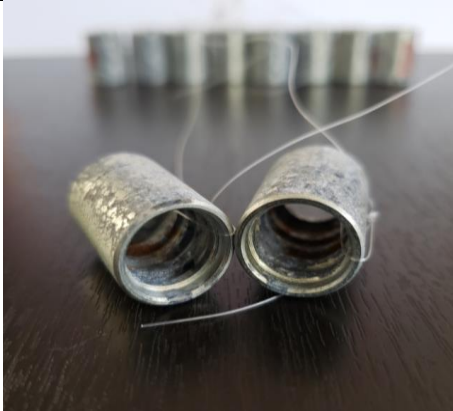
Disposición Rack, sin agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 17 Valores Ra y Rp del Experimento 2.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	1	10.05	10.04
2	0	B	0	10.05	10.03
3	0	A	3	10.10	10.08
4	4	A	3	10.08	10.07
5	1	A	3	10.04	10.01
6	0	B	0	10.09	10.08
7	0	A	2	10.10	10.08
8	1	A	2	10.09	10.05
9	1	A	1	10.07	10.05
10	0	A	4	10.06	10.05
Promedio	0.7	A	1.9	10.073	10.054

Fuente: Autor.

Tabla 18 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 2.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.3 Experimento 3




Disposición Tambor, con agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 19 Valores Ra y Rp del Experimento 3.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	0	10.05	10.05
2	0	A	0	10.05	10.04
3	1	A	1	10.10	10.10
4	0	A	0	10.09	10.09
5	0	A	0	10.13	10.11
6	0	A	0	10.08	10.05
7	0	A	0	10.04	10.00
8	0	A	0	10.07	10.05
9	0	A	0	10.06	10.05
10	0	A	0	10.10	10.08
Promedio	0.1	A	0.1	10.077	10.062

Fuente: Autor.

Tabla 20 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 3.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.4 Experimento 4





Disposición Rack, con agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 21 Valores Ra y Rp del Experimento 4.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	5	10.10	10.08
2	1	A	5	10.05	10.03
3	2	A	7	10.12	10.08
4	1	A	5	10.08	10.07
5	2	B	7	10.08	10.05
6	1	A	5	10.05	10.03
7	2	A	5	10.07	10.04
8	2	A	6	10.10	10.06
9	2	A	4	10.07	10.05
10	1	A	3	10.09	10.05
Promedio	1.4	A	5.2	10.081	10.054

Fuente: Autor.

Tabla 22 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 4.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.5 Experimento 5





Disposición Tambor, sin agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 23 Valores Ra y Rp del Experimento 5.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	0	10.12	10.10
2	2	A	3	10.10	10.07
3	0	A	0	10.05	10.03
4	0	A	0	10.08	10.08
5	0	A	0	10.08	10.06
6	0	A	0	10.05	10.03
7	1	G	1	10.09	10.07
8	0	A	1	10.10	10.08
9	0	A	0	10.07	10.07
10	0	A	0	10.10	10.09
Promedio	0.3	A	0.5	10.084	10.068

Fuente: Autor.

Tabla 24 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 5.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.6 Experimento 6


Disposición Rack, sin agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 25 Valores Ra y Rp del Experimento 6.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	A	5	10.09	10.05
2	0	A	4	10.1	10.07
3	0	A	3	10.05	10.03
4	0	B	0	10.08	10.05
5	1	A	6	10.08	10.04
6	0	A	2	10.04	10.02
7	7	A	1	10.07	10.02
8	1	A	2	10.06	10.04
9	0	A	3	10.07	10.03
10	0	B	0	10.07	10.06
Promedio	1	A	2.6	10.071	10.041

Fuente: Autor.

Tabla 26 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 6.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.7 Experimento 7




Disposición Tambor, con agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 27 Valores Ra y Rp del Experimento 7.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	0	10.08	10.05
2	0	A	0	10.05	10.04
3	0	A	0	10.09	10.07
4	0	A	0	10.10	10.08
5	0	A	0	10.09	10.09
6	0	A	0	10.06	10.06
7	0	A	0	10.10	10.08
8	0	G	0	10.07	10.06
9	0	A	1	10.10	10.09
10	0	G	2	10.11	10.08
Promedio	0	A	0.3	10.085	10.070

Fuente: Autor.

Tabla 28 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 7.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.8 Experimento 8





Disposición Rack, con agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 1

Tabla 29 Valores Ra y Rp del Experimento 8.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	B	1	10.04	10.00
2	0	A	5	10.05	10.01
3	0	A	4	10.10	10.04
4	1	A	4	10.10	10.06
5	0	A	6	10.09	10.05
6	0	A	6	10.12	10.09
7	0	A	5	10.05	10.03
8	0	A	5	10.10	10.06
9	0	A	6	10.09	10.06
10	0	B	5	10.07	10.03
Promedio	0.1	A	4.7	10.081	10.043

Fuente: Autor.

Tabla 30 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 8.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.9 Experimento 9

Disposición Tambor, sin agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 2

Tabla 31 Valores Ra y Rp del Experimento 9.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	0	10.06	10.05
2	0	A	0	10.10	10.10
3	0	A	0	10.05	10.05
4	0	A	0	10.07	10.06
5	0	A	0	10.10	10.09
6	0	A	0	10.05	10.05
7	0	A	0	10.09	10.07
8	0	A	0	10.10	10.10
9	0	A	0	10.09	10.09
10	0	A	0	10.06	10.06
Promedio	0	A	0	10.077	10.072

Fuente: Autor.

Tabla 32 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 9.



Fuente: Autor.

3.1.8.10 Experimento 10





Disposición Rack, sin agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 2

Tabla 33 Valores Ra y Rp del Experimento 10.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	A	3	10.08	10.06
2	1	A	4	10.08	10.07
3	1	A	5	10.07	10.05
4	2	B	4	10.06	10.05
5	9	B	10	10.10	10.08
6	1	B	2	10.07	10.04
7	0	B	1	10.09	10.07
8	1	A	4	10.05	10.02
9	1	A	4	10.07	10.05
10	0	A	3	10.10	10.08
Promedio	1.7	A	4	10.077	10.057

Fuente: Autor.

Tabla 34 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 10.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.11 Experimento 11

Disposición Tambor, con agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 2.

Tabla 35 Valores Ra y Rp del Experimento 11.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	0	10.10	10.10
2	0	A	0	10.10	10.08
3	1	A	1	10.10	10.09
4	0	A	1	10.09	10.07
5	1	G	2	10.05	10.05
6	1	G	2	10.05	10.05
7	0	G	2	10.09	10.06
8	1	G	3	10.06	10.05
9	1	A	0	10.05	10.04
10	0	G	2	10.05	10.03
Promedio	0.5	G	1.3	10.074	10.062

Fuente: Autor.

Tabla 36 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 11.



Fuente: Autor.

3.1.8.12 Experimento 12

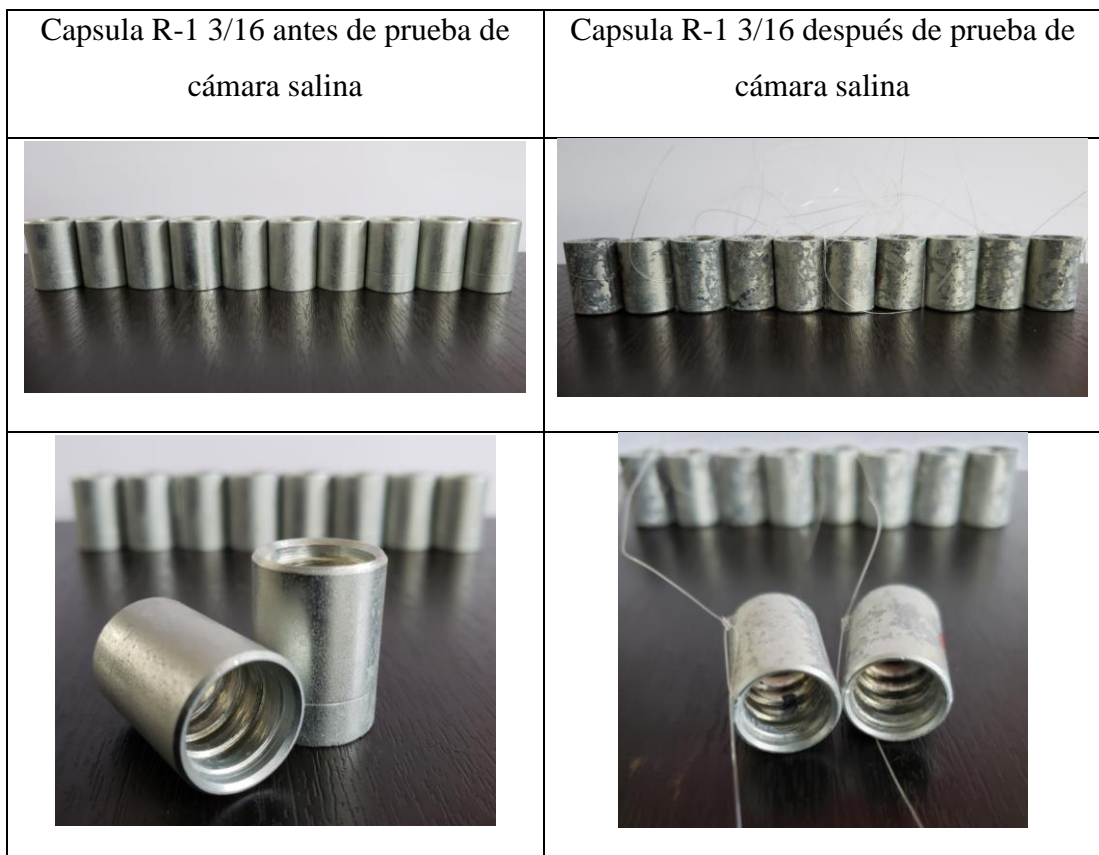
Disposición Rack, con agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 2

Tabla 37 Valores Ra y Rp del Experimento 12.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	2	B	9	10.08	10.06
2	1	B	8	10.07	10.04
3	4	B	9	10.05	10.03
4	1	B	6	10.09	10.05
5	3	B	9	10.06	10.04
6	6	B	8	10.08	10.06
7	4	B	8	10.09	10.06
8	2	B	7	10.10	10.08
9	2	B	6	10.06	10.04
10	5	B	9	10.09	10.07
Promedio	3	B	7.9	10.077	10.053

Fuente: Autor.

Tabla 38 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 12.



Fuente: Autor.

3.1.8.13 Experimento 13




Disposición Tambor, sin agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 2

Tabla 39 Valores Ra y Rp del Experimento 13.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	G	2	10.05	10.03
2	1	G	2	10.09	10.09
3	0	G	1	10.10	10.08
4	0	A	2	10.10	10.09
5	0	A	3	10.08	10.06
6	0	G	3	10.05	10.03
7	0	G	4	10.10	10.08
8	0	G	5	10.06	10.05
9	0	A	3	10.07	10.07
10	0	A	3	10.05	10.03
Promedio	0.2	G	2.8	10.075	10.061

Fuente: Autor.

Tabla 40 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 13.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.14 Experimento 14

Disposición Rack, sin agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 2

Tabla 41 Valores Ra y Rp del Experimento 14.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	B	8	10.09	10.06
2	1	B	7	10.08	10.06
3	2	B	8	10.08	10.04
4	0	B	8	10.07	10.05
5	0	B	8	10.06	10.03
6	0	B	7	10.05	10.02
7	1	B	8	10.08	10.05
8	1	B	7	10.07	10.04
9	5	B	8	10.05	10.02
10	0	B	8	10.10	10.07
Promedio	1.1	B	7.7	10.073	10.044

Fuente: Autor.

Tabla 42 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 14.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.15 Experimento 15





Disposición Tambor, con agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 2

Tabla 43 Valores Ra y Rp del Experimento 15.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	G	2	10.06	10.05
2	0	G	3	10.06	10.04
3	0	G	2	10.05	10.02
4	0	A	2	10.08	10.06
5	0	G	4	10.10	10.09
6	0	A	2	10.05	10.03
7	0	A	2	10.12	10.10
8	0	G	4	10.08	10.07
9	0	A	2	10.05	10.05
10	1	A	3	10.10	10.08
Promedio	0.1	A/G	2.6	10.075	10.059

Fuente: Autor.

Tabla 44 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 15.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.16 Experimento 16





Disposición Rack, con agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 2

Tabla 45 Valores Ra y Rp del Experimento 16.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	B	5	10.10	10.06
2	1	B	5	10.10	10.07
3	0	A	6	10.08	10.04
4	0	B	5	10.05	10.03
5	0	B	5	10.05	10.02
6	1	B	5	10.07	10.04
7	0	A	4	10.05	10.03
8	0	B	3	10.10	10.07
9	1	A	3	10.06	10.03
10	2	A	2	10.05	10.01
Promedio	0.5	B	4.3	10.071	10.040

Fuente: Autor.

Tabla 46 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 16.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.17 Experimento 17

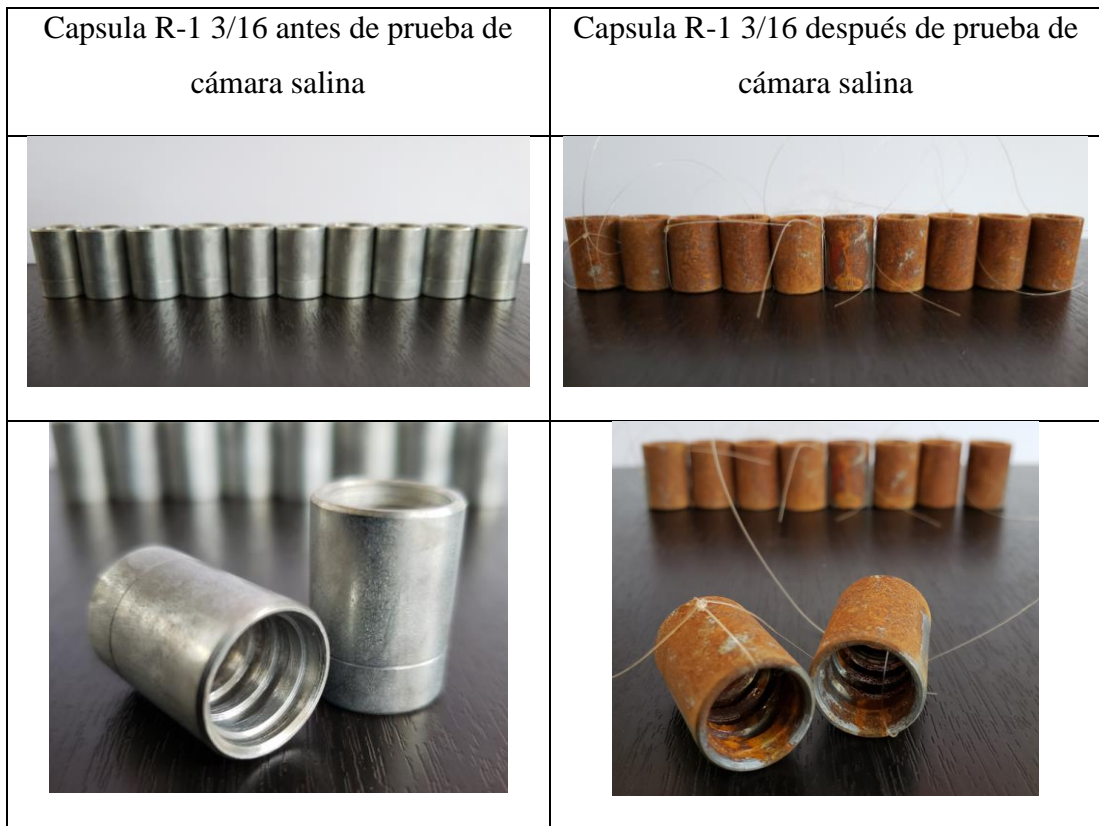
Disposición Tambor, sin agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 3

Tabla 47 Valores Ra y Rp del Experimento 17.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	0	10.10	10.10
2	0	A	0	10.08	10.07
3	0	A	0	10.06	10.05
4	1	A	1	10.07	10.06
5	1	A	0	10.09	10.09
6	0	A	0	10.06	10.05
7	0	A	0	10.05	10.03
8	0	A	0	10.05	10.05
9	0	A	0	10.08	10.06
10	0	A	0	10.07	10.07
Promedio	0.2	A	0.1	10.071	10.063

Fuente: Autor.

Tabla 48 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 17.



Fuente: Autor.

3.1.8.18 Experimento 18

Disposición Rack, sin agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 3

Tabla 49 Valores Ra y Rp del Experimento 18.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	A	5	10.05	10.03
2	0	A	5	10.10	10.07
3	0	A	5	10.10	10.08
4	0	A	3	10.06	10.04
5	0	A	5	10.09	10.06
6	0	A	5	10.09	10.06
7	0	A	3	10.04	10.02
8	0	A	5	10.08	10.05
9	0	A	6	10.06	10.05
10	0	A	5	10.05	10.05
Promedio	0.1	A	4.7	10.072	10.051

Fuente: Autor.

Tabla 50 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 18.



Fuente: Autor.

3.1.8.19 Experimento 19





Disposición Tambor, con agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 3.

Tabla 51 Valores Ra y Rp del Experimento 19.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	1	10.09	10.08
2	0	A	1	10.05	10.05
3	0	G	3	10.03	10.01
4	0	G	3	10.08	10.07
5	0	A	3	10.08	10.06
6	0	G	4	10.08	10.08
7	1	A	3	10.10	10.08
8	0	A	3	10.05	10.05
9	0	A	4	10.06	10.04
10	0	G	3	10.08	10.05
Promedio	0.1	A	2.8	10.070	10.057

Fuente: Autor.

Tabla 52 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 19.

Capsula R-1 3/16 antes de prueba de cámara salina	Capsula R-1 3/16 después de prueba de cámara salina
	
	

Fuente: Autor.

3.1.8.20 Experimento 20

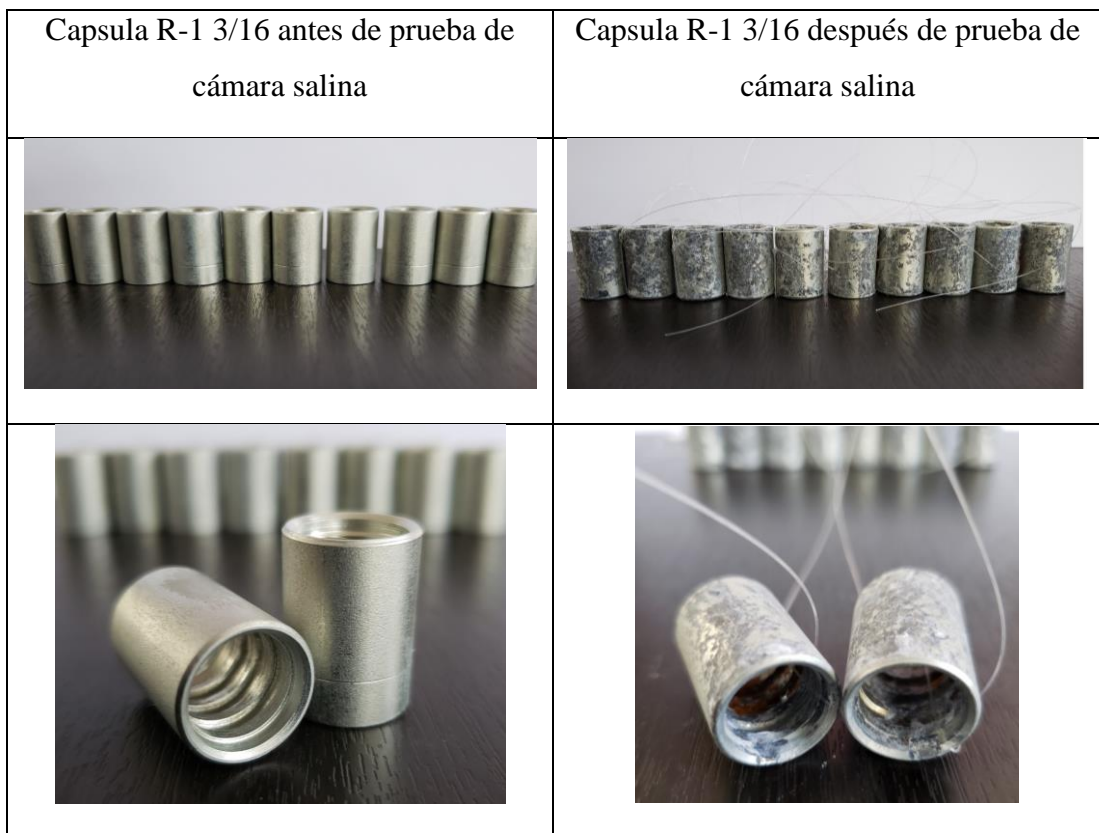
Disposición Rack, con agitación y 27 min de duración de inmersión. Repetición 3

Tabla 53 Valores Ra y Rp del Experimento 20.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	A	0	10.08	10.05
2	1	A	2	10.05	10.03
3	0	A	0	10.10	10.08
4	0	A	0	10.09	10.07
5	1	A	2	10.05	10.04
6	3	A	1	10.06	10.05
7	0	A	3	10.06	10.03
8	0	A	3	10.06	10.04
9	0	A	1	10.08	10.05
10	0	A	0	10.10	10.07
Promedio	0.6	A	1.2	10.073	10.051

Fuente: Autor.

Tabla 54 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 20.



Fuente: Autor.

3.1.8.21 Experimento 21

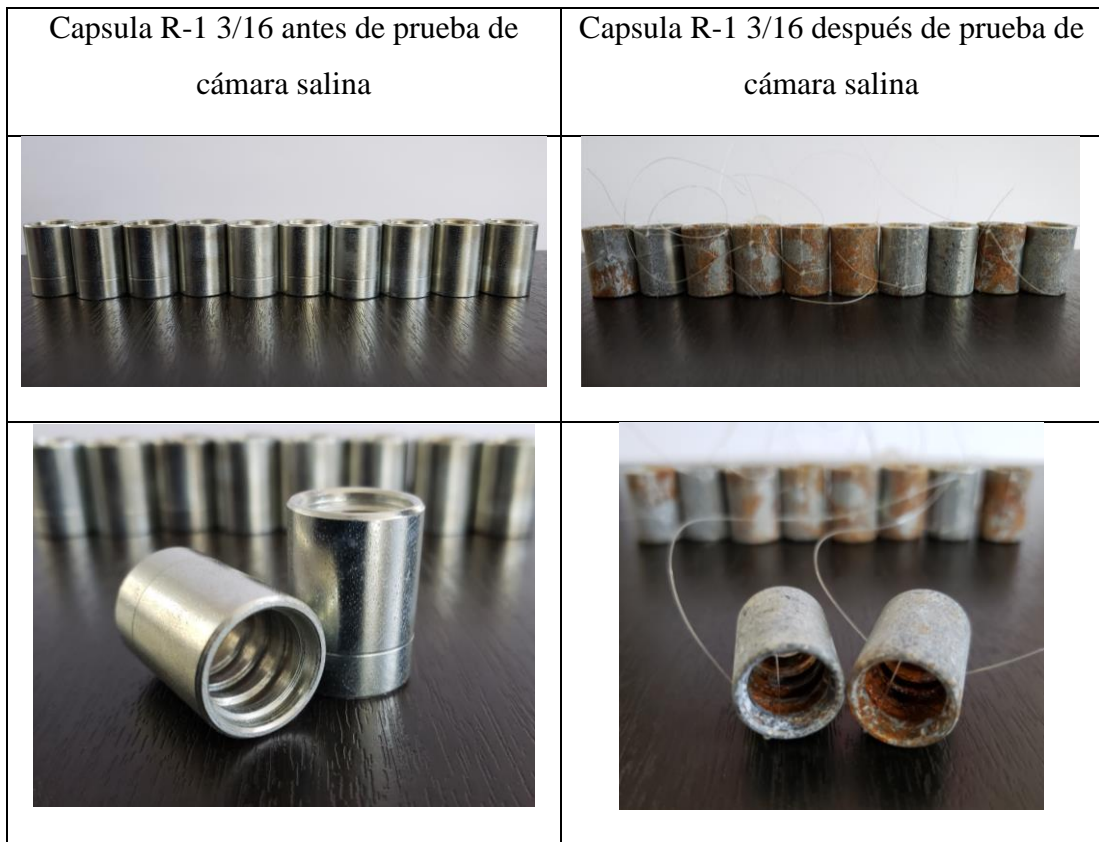
Disposición Tambor, sin agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 3

Tabla 55 Valores Ra y Rp del Experimento 21.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	E	1	10.06	10.04
2	0	E	1	10.05	10.04
3	0	G	2	10.08	10.05
4	0	G	3	10.10	10.08
5	1	A	4	10.05	10.03
6	0	A	1	10.10	10.09
7	0	A	1	10.07	10.05
8	0	A	2	10.05	10.04
9	0	A	2	10.08	10.07
10	0	A	2	10.09	10.08
Promedio	0.2	A	1.9	10.073	10.057

Fuente: Autor.

Tabla 56 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 21.



Fuente: Autor.

3.1.8.22 Experimento 22

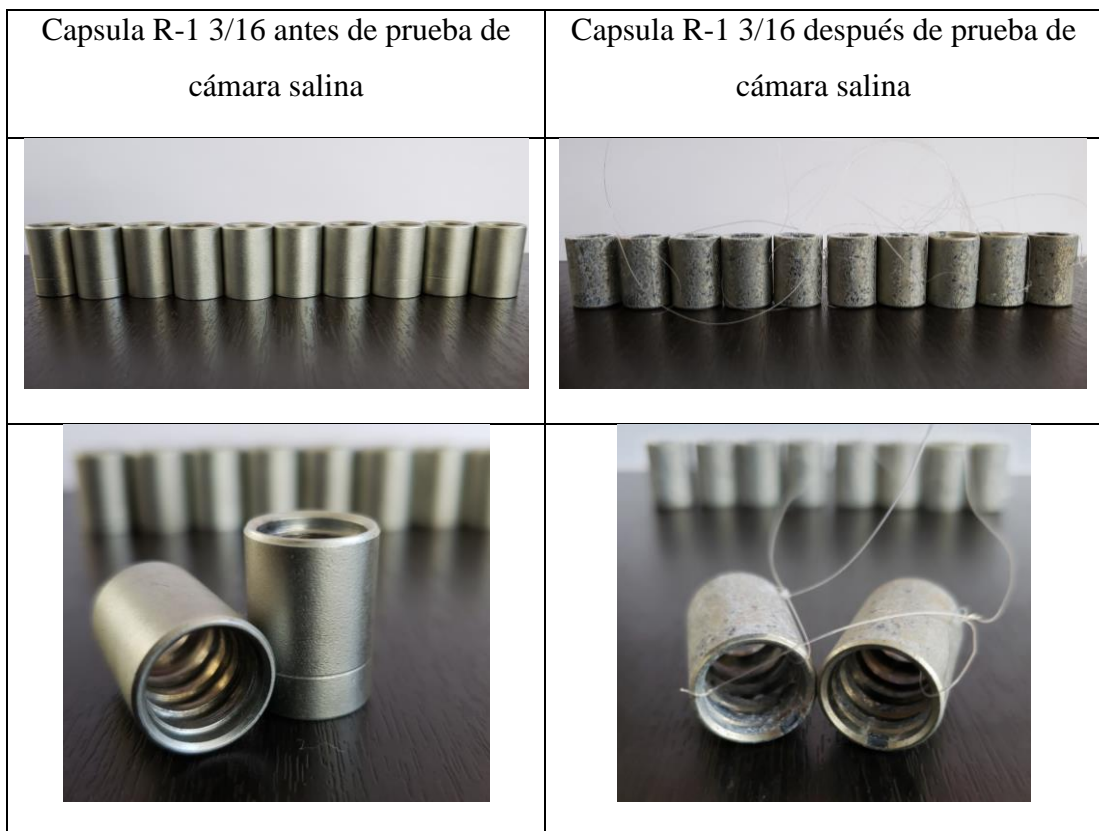
Disposición Rack, sin agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 3

Tabla 57 Valores Ra y Rp del Experimento 22.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	A	5	10.07	10.04
2	1	A	5	10.05	10.01
3	2	B	1	10.09	10.06
4	1	A	4	10.05	10.03
5	1	A	3	10.12	10.08
6	1	B	1	10.10	10.06
7	2	A	5	10.05	10.02
8	1	A	4	10.07	10.03
9	2	A	3	10.09	10.06
10	1	A	4	10.10	10.06
Promedio	1.3	A	3.5	10.079	10.045

Fuente: Autor.

Tabla 58 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 22.



Fuente: Autor.

3.1.8.23 Experimento 23

Disposición Tambor, con agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 3

Tabla 59 Valores Ra y Rp del Experimento 23.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	0	A	0	10.10	10.08
2	0	A	0	10.10	10.07
3	0	G	1	10.08	10.07
4	0	A	0	10.05	10.03
5	1	G	2	10.07	10.06
6	0	G	0	10.07	10.05
7	0	G	1	10.05	10.04
8	0	A	0	10.04	10.04
9	0	A	0	10.09	10.07
10	1	A	1	10.08	10.08
Promedio	0.2	A	0.5	10.073	10.059

Fuente: Autor.

Tabla 60 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 23.



Fuente: Autor.

3.1.8.24 Experimento 24

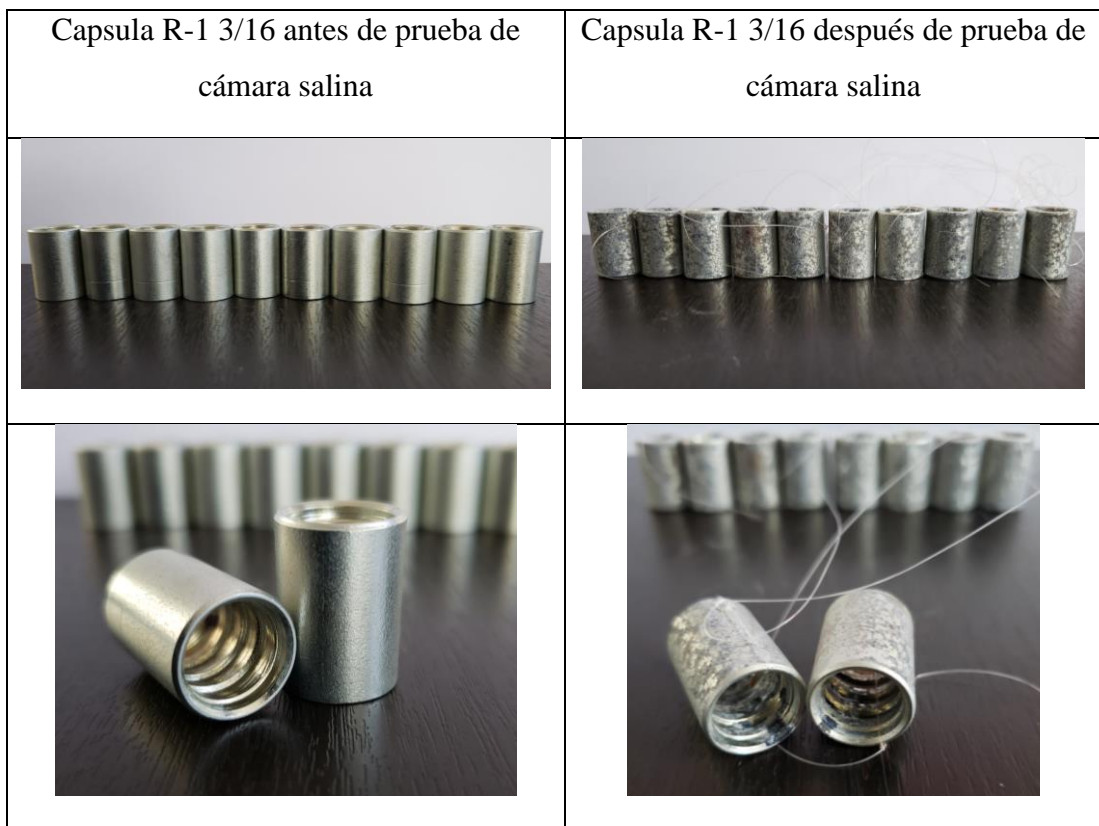
Disposición Rack, con agitación y 41 min de duración de inmersión. Repetición 3

Tabla 61 Valores Ra y Rp del Experimento 24.

<i>Espécimen</i>	<i>Escala Ra</i>	<i>Defecto</i>	<i>Escala Rp</i>	<i>D inicial mm</i>	<i>D final mm</i>
1	1	A	4	10.05	10.01
2	0	A	0	10.09	10.05
3	1	A	1	10.13	10.07
4	1	A	5	10.06	10.03
5	0	B	0	10.06	10.02
6	1	A	1	10.09	10.05
7	0	A	4	10.1	10.06
8	0	A	1	10.06	10.02
9	2	B	0	10.09	10.05
10	4	B	0	10.05	10.02
Promedio	1	A	1.6	10.078	10.038

Fuente: Autor.

Tabla 62 Efectos de prueba de corrosión acelerada en experimento 24.



Fuente: Autor.

3.1.9 Promedios de indicadores de apariencia, protección y razón de corrosión

Tabla 63 Matriz de pesos y razón de corrosión

Código de parámetros de variables	Experimento	Escala Ra	Defecto	Escala Rp	Peso perdido en cámara salina (g)	Razón de corrosión ($\mu\text{m}/\text{año}$)
A1B1C1	1	0.17	A	0.67	0.108	6.53
A2B1C1	2	0.83	A	3.53	0.019	1.15
A1B2C1	3	0.23	A	1.40	0.086	5.20
A2B2C1	4	1.67	A	4.77	0.027	1.63
A1B1C2	5	0.23	A	1.73	0.062	3.75
A2B1C2	6	1.13	A	4.60	0.034	2.06
A1B2C2	7	0.10	A	1.13	0.059	3.57
A2B2C2	8	0.53	A	3.53	0.028	1.69

Fuente: [Autor].

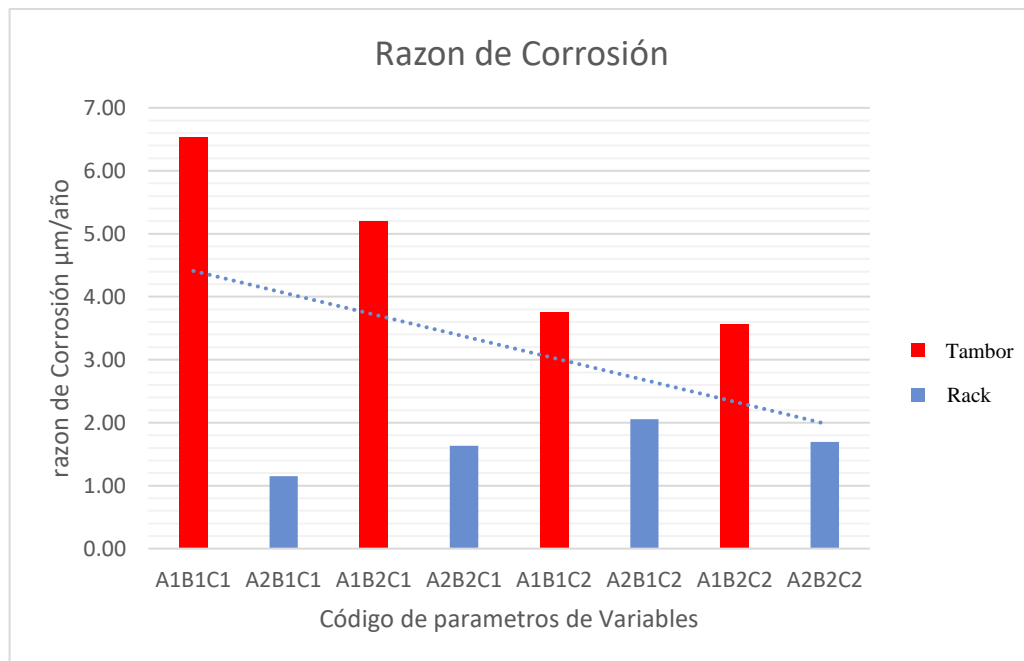


Figura 37 Gráfico de barras para la razón de corrosión [Autor].

Se obtuvieron resultados bien marcados, donde los experimentos realizados con la disposición de las capsulas R-1 3/16 en arreglos sobre un Rack poseen una menor razón de corrosión al año. Esto se traduce a una mejor protección a la corrosión en ambientes industriales

3.1.10 Diseño factorial 2³

Debido a que se utilizan 3 factores en la experimentación del presente proyecto, se propone el desarrollo del diseño experimental 2³ el cual arrojará 8 tipos de iteraciones que son posibles con el fin de analizar la correlación de los factores con sus niveles.

Tabla 64 Matriz de Experimentación y Respuesta.

	<i>Matriz de experimentos</i>			<i>Plan de experimentación</i>			<i>Respuesta</i>	
	#	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	Disposición	Agitación		Tiempo (min)
<i>Repetición 1</i>	1	-	-	-	Tambor	Sin agitación	27	1.9
	2	+	-	-	Rack	Sin agitación	27	1.9
	3	-	+	-	Tambor	Con agitación	27	0.1
	4	+	+	-	Rack	Con agitación	27	5.2
	5	-	-	+	Tambor	Sin agitación	41	0.5
	6	+	-	+	Rack	Sin agitación	41	2.6
	7	-	+	+	Tambor	Con agitación	41	0.3
	8	+	+	+	Rack	Con agitación	41	4.7
<i>Repetición 2</i>	9	-	-	-	Tambor	Sin agitación	27	0
	10	+	-	-	Rack	Sin agitación	27	4
	11	-	+	-	Tambor	Con agitación	27	1.3
	12	+	+	-	Rack	Con agitación	27	7.9
	13	-	-	+	Tambor	Sin agitación	41	2.8
	14	+	-	+	Rack	Sin agitación	41	7.7
	15	-	+	+	Tambor	Con agitación	41	2.6
	16	+	+	+	Rack	Con agitación	41	4.3
<i>Repetición 3</i>	17	-	-	-	Tambor	Sin agitación	27	0.1
	18	+	-	-	Rack	Sin agitación	27	4.7
	19	-	+	-	Tambor	Con agitación	27	2.8
	20	+	+	-	Rack	Con agitación	27	1.2
	21	-	-	+	Tambor	Sin agitación	41	1.9
	22	+	-	+	Rack	Sin agitación	41	3.5
	23	-	+	+	Tambor	Con agitación	41	0.5
	24	+	+	+	Rack	Con agitación	41	1.6

Fuente: Autor.

3.1.10.1 Análisis de Varianza ANOVA

Utilizando el software Minitab 19.0 se realiza calculo estadístico donde obtenemos la tabla de análisis de varianza ANOVA.

Tabla 65 Análisis de Varianza ANOVA Minitab 19.0

<i>Fuente</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>MC</i>	<i>Valor F</i>	<i>Valor p</i>
		<i>Ajust.</i>	<i>Ajust.</i>		
<i>Modelo</i>	7	55.430	7.9185	2.13	0.099
<i>Lineal</i>	3	49.778	16.5926	4.47	0.018
<i>DISPOSICIÓN</i>	1	49.594	49.5937	13.37	0.002
<i>AGITACIÓN</i>	1	0.034	0.0337	0.01	0.925
<i>TIEMPO</i>	1	0.150	0.1504	0.04	0.843
<i>Interacciones de 2 términos</i>	3	5.301	1.7671	0.48	0.703
<i>DISPOSICIÓN*AGITACIÓN</i>	1	0.000	0.0004	0.00	0.992
<i>DISPOSICIÓN*TIEMPO</i>	1	0.350	0.3504	0.09	0.763
<i>AGITACIÓN*TIEMPO</i>	1	4.950	4.9504	1.33	0.265
<i>Interacciones de 3 términos</i>	1	0.350	0.3504	0.09	0.763
<i>DISPOSICIÓN*AGITACIÓN*TIEMPO</i>	1	0.350	0.3504	0.09	0.763
<i>Error</i>	16	59.360	3.7100		
<i>Total</i>	23	114.790			

Fuente: Autor.

3.2 Verificación de hipótesis

3.2.1 Planteamiento de hipótesis nula y alternativa

Con la hipótesis planteada con anterioridad, se establece la hipótesis nula y alternativa para su validación estadística.

3.2.1.1 Hipótesis Nula

La manipulación de las variables del proceso de galvanizado electrolítico no tendrá incidencia en el porcentaje de aceptación de los acoples

3.2.1.2 Hipótesis Alternativa

La manipulación de las variables del proceso de galvanizado electrolítico si tendrá incidencia en el porcentaje de aceptación de los acoples

3.2.2 Incidencia de los factores de experimentación

Mediante el diagrama de Pareto se establece la incidencia que tiene cada factor sobre el proceso de galvanizado electrolítico y su resistencia a la corrosión de la capa protectora.

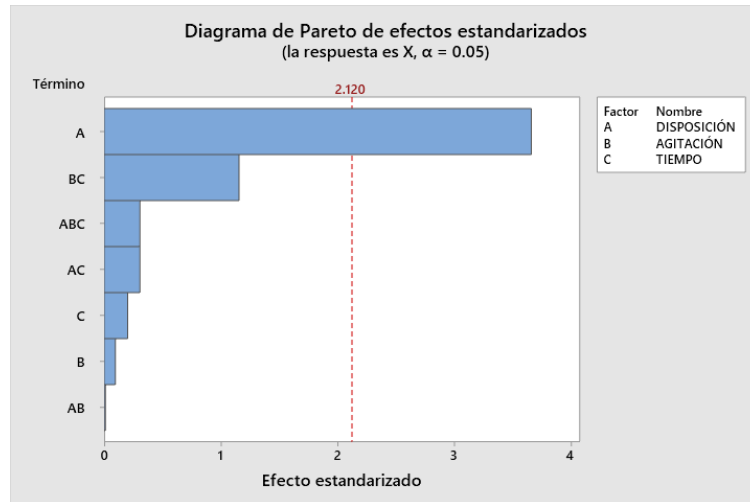


Figura 38 Diagrama de Pareto de efectos de incidencia [Autor].

Con los resultados obtenidos del análisis ANOVA en la tabla 63, se observó que el único factor determinante en los experimentos realizados a las capsulas R-1 3/16 es la disposición geométrica de las piezas o también representado por el factor “A”, donde el resultado obtenido con el Rack en los experimentos sobresale en todos los aspectos. Los factores restantes son descartados debido a que sus niveles de significancia son mayores al requerido que es del 0.05 o el 95% de confianza y esto es corroborado en el diagrama de Pareto mostrado en la figura 38 y en la figura 39 que muestra los efectos principales para los experimentos.

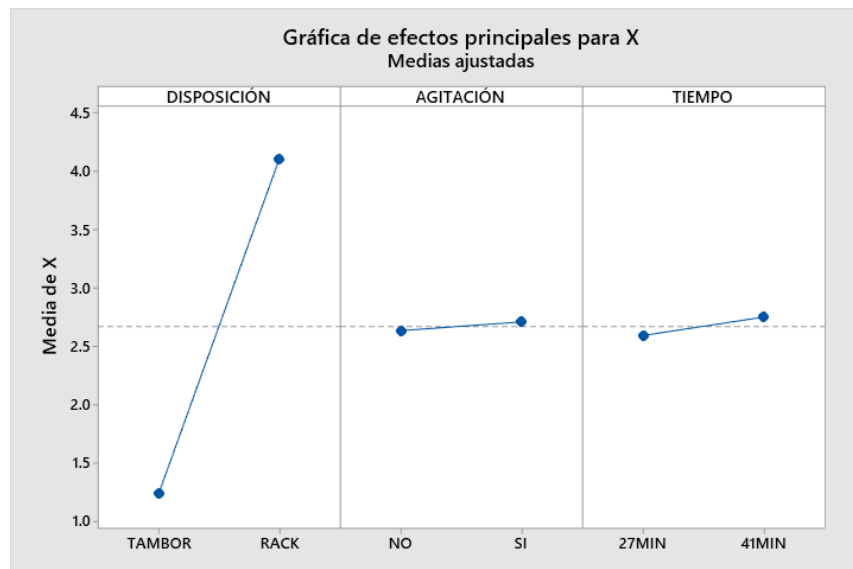


Figura 39 Efectos principales de las Variables [Autor].

Aun cuando los demás factores no son determinantes en los resultados, en la interacción de los factores “B” y “C” de la figura 40, se aprecia que, si existe agitación del electrolito los tiempos de inmersión pueden ser menores a cuando no existe agitación del electrolito, considerando esta característica como un punto para la optimización del proceso.

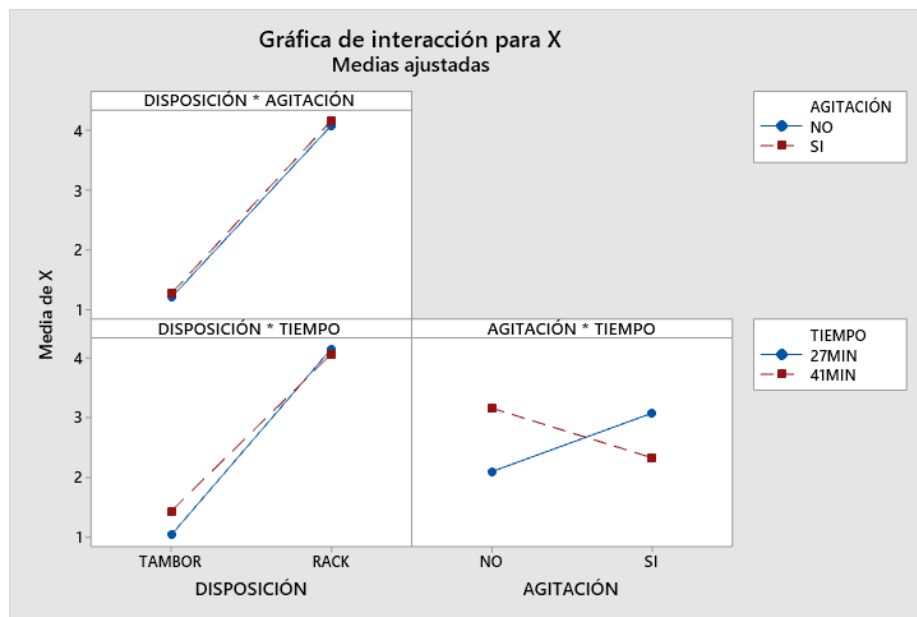


Figura 40 Relación de interacción de las Variables. [Autor].

En cuanto a las tolerancias permisibles en los acoples, vemos que ninguno sobrepasa los $+0.15\text{mm}$, donde la diferencia de los promedios entre el diámetro inicial previo al recubrimiento electrolítico y el diámetro final luego que la capa de Zinc ya ha sido depositada en las piezas varía entre $0,005\text{mm}$ a $0,04\text{mm}$. Esto es gracias a que el proceso de recubrimientos metálicos por electrodeposición alcanza espesores de capas entre 5 a $25\ \mu\text{m}$ según la norma ASTM B633.

Realizado el análisis de todos los datos obtenidos se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, demostrando que la manipulación de las variables del proceso de galvanizado electrolítico tuvo una incidencia en la calidad del recubrimiento anticorrosivo de los acoples R-1 3/16.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En el estudio realizado sobre el galvanizado electrolítico se concluyó que los baños ácidos son los de más alta eficiencia, además estos baños tienen un menor costo de operación y tratamiento de aguas residuales ya que el ácido se neutraliza fácilmente con agua.
- De la información recopilada y analizada se obtuvo los niveles óptimos para un baño ácido, donde se establecen cantidades de químicos y parámetros que durante la experimentación se comprobó que, con una temperatura de 20°C del electrolito, una densidad de corriente de 2.7 A/dm² y 5 V de voltaje dieron excelentes resultados en el acabado superficial del recubrimiento.
- Después de realizar todos los experimentos y los análisis de resultados se concluyó que la disposición de las piezas mediante un Rack es el factor que más influye en el recubrimiento que es depositado en las superficies internas, este viene de la mano con la agitación del electrolito el cual permite que los iones de zinc estén en mayor contacto con la superficie metálica de los acoples hidráulicos reduciendo los tiempos de inmersión y logrando una optimización en el proceso.
- La propuesta del proceso de galvanizado electrolítico para la empresa Impofreico es el resultado de los datos obtenidos en la experimentación de donde se obtuvo la mezcla del electrolítico óptima, las condiciones de trabajo y las características de los procesos adjuntos al proceso de galvanizado electrolítico.

4.2 Recomendaciones

- La utilización del Rack favorece al recubrimiento interno de los acoples proporcionando una mejor protección anticorrosiva en todas las superficies, sin embargo, los tiempos adicionales que este conlleva en el proceso de colocación de los productos en sus ganchos es más alto que el gastado en la colocación del tambor. Así como también se observó que a la mitad del proceso se debe girar el producto para que no exista superficies sin recubrimiento. Se recomienda el estudio o análisis de un mecanismo automatizado para girar las piezas cuando se encuentran sumergidas en el electrolito, este podría ser mediante vibraciones

pequeñas suministradas al rack para que el movimiento obligue al acople a desplazarse constantemente en pequeñas proporciones sin afectar el proceso de recubrimiento metálico.

- Se recomienda realizar una investigación más amplia de los desviadores de iones metálicos en lo que concierne a procesos de recubrimientos metálicos por medio de electrodeposición sumergidos en un electrolito, debido a que la información de este tema es bastante limitada.

CAPÍTULO V.- DESARROLLO DE PROPUESTA

5.1 Descripción

TEMA: DESARROLLO DE PROCESO DEL GALVANIZADO ELECTROLÍTICO PARA MEJORAR EL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO METÁLICO DE ZINC EN LAS SUPERFICIES INTERNAS DE LOS ACOPLER HIDRÁULICOS DE LA EMPRESA IMPOFREICO

Una vez realizado el estudio del recubrimiento de Zinc sobre los acoples hidráulicos de la empresa de Impofreico, se determinó que existen parámetros de tiempo, disposición de las piezas y agitación del electrolito adecuados para obtener una buena protección anticorrosiva en las superficies internas de dichos acoples.

Se debe tomar en cuenta que no siempre mayor cantidad de Zinc en la superficie es mejor, ya que la apariencia del producto juega un papel importante en las ventas y aceptación del mismo. Por lo que este proceso de mejora considerara los niveles máximos de recubrimiento sin perder la calidad uniforme de la superficie del acople.

5.2 Antecedentes de la propuesta

Con los estudios realizados en este proyecto y luego de una revisión de los estudios realizados referentes al galvanizado electrolítico de zinc en acero no se ha encontrado un tema referente a la mejora del recubrimiento interno de elementos tubulares como los son los acoples hidráulicos para mangueras u otro producto similar, por lo que es necesario realizar este estudio y sobre todo aportar con especificaciones detalladas sobre el proceso y sus parámetros óptimos que la empresa Impofreico debería seguir para obtener menor índice de corrosión en sus productos.

La propuesta se basa en incrementar la resistencia a la corrosión en las superficies internas de los acoples hidráulicos manufacturados en tornos CNC de la empresa Impofreico, dado que las variables manipuladas en esta investigación nos aportaron datos importantes sobre los niveles óptimos, estos serán detallados como parámetros de operación para la empresa.

5.3 Justificación

La empresa gasta un monto significativo de dinero mensualmente en reprocesos de galvanizado electrolítico debido a que los productos almacenados en bodega se

corroen prematuramente, en específico los acoples hidráulicos para mangueras de alta presión. La visión y misión de la empresa es entregar productos de alta calidad por lo que es necesario mejorar el proceso de recubrimiento metálico que se efectúa en la actualidad.

El proporcionar un documento científico con sustento de la presente investigación será una herramienta que ayudara a mitigar el problema de la corrosión que se ha venido presentando, así como también pretenderá reducir costos de reprocesos que se puedan generar por lo antes mencionado.

5.4 Objetivos

5.4.1 Objetivo General

Proponer un proceso de galvanizado electrolítico para incrementar la resistencia a la corrosión de las superficies internas de los acoples hidráulicos de la empresa Impofreico.

5.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros adecuados para el recubrimiento metálico de zinc a las superficies internas de los acoples hidráulicos
- Realizar hojas de ruta para la organización del proceso de galvanizado electrolítico dentro de la empresa

5.5 Análisis de Factibilidad

La presente propuesta es factible porque se dispone la apertura y apoyo de la empresa para suministrar los equipos, materiales necesarios y el recurso humano, para así poder alcanzar una mejoría significativa en el proceso de galvanizado que actualmente se realiza.

En cuanto a las hojas de ruta, serán estructuradas de manera sencilla para que los operarios puedan seguir paso a paso las indicaciones para desarrollar el proceso de galvanizado electrolítico adecuadamente con el fin de obtener resultados uniformes sin importar quien lo realice.

5.6 Fundamentación

La fundamentación de la presente propuesta se basa en los conceptos tratados en el capítulo I – fundamentación teórica, así como también en el capítulo III – resultados y discusiones donde se analizó mediante experimentación y métodos estadísticos la incidencia que tienen los factores del tiempo, disposición de piezas y agitación del electrolito en el grado de recubrimiento de las superficies internas de los acoples.

En lo referente con los procesos actuales del galvanizado electrolítico en la empresa Impofreico, se los ha venido realizando de una manera empírica y sin control de los parámetros del proceso, por lo que la presente propuesta pretende mejorar los resultados finales tanto en calidad del acabado superficial como en resistencia a la corrosión.

5.7 Niveles óptimos de electrolito y condiciones de trabajo

Para obtener la mezcla óptima de químicos para 3m³ de electrolito necesitamos los siguientes químicos:

Tabla 66 Mezcla de químicos para el e baño ácido

Componente	Óptimo
Cloruro de zinc	225 kg
Cloruro potásico	630 kg
Ácido bórico	105 kg
Humectante	240 l
Abrillantador	2.1 l

Fuente: Autor.

Para las condiciones de trabajo se debe tomar en cuenta la temperatura del electrolito que debe ser controlada a 20°C para mejores resultados en la electrodeposición, el pH de la mezcla debe tener alrededor de 5.1. La densidad de corriente a utilizar es de 2.7 A/dm² con un voltaje de 5 a 6V.

5.8 Metodología

Para el desarrollo de la propuesta y seguir una estructura del proceso utilizaremos el siguiente flujograma donde se observan los tiempos propuestos por actividad y las distancias a recorrer para terminar todo el proceso de galvanizado electrolítico hasta su almacenamiento en bodega.

La simbología utilizada para el flujograma es la siguiente:

- Operación ○
- Transporte ⇨
- Retraso D
- Inspección □
- Almacenamiento ▼

Flujo de Proceso Productivo											
Empresa:	Impofreico SA			Resumen							
Actividad:	Galvanizado Electroolitico			Evento	Presente	Propuesto	Ahorro				
Fecha:	12/16/2020			Operacion		55.2					
Operador:	Daniel Lascano			Transporte		13.50					
Supervisor:	Carlos Andrade			Retrasos		55.00					
Metodo:				Inspeccion		4.00					
Presente		Propuesto	X	Almacenamiento		45.00					
Tipo:				Timepo (min)		172.7					
	Trabajador	Maquina	Material	Distancia(m)		136					
Descripcion de los eventos				Simbolos			Recomendaciones				
				Operacion	Transporte	Retraso	Inspeccion	Almacenamiento	Tiempo (min)	Distancia (m)	
Dirigirse al area de CNC por los items				○	⇨	D	□	▼	2.00	20	Fijar hora de recoleccion
Recoleccion de los acoples del area de CNC				●	⇨	D	□	▼	5.00		
Caminar hasta el area de Galvanoplastia				○	⇨	D	□	▼	2.00	20	Llevar carro de carga
Depositar las piezas en el tanque de lavado con desengrasante				●	⇨	D	□	▼	0.75		Comprobar nivel de desengrasante
Lavar mediante agitacion las piezas				●	⇨	D	□	▼	4.00		
Inspeccionar la limpieza de las piezas				○	⇨	D	■	▼	1.00		Repetir de ser necesario
Trasladar las piezas al tanque de agua limpia				○	⇨	D	□	▼	0.75	2	Cambio de agua diario
Depositar las piezas en el tanque de agua limpia				●	⇨	D	□	▼	0.75		
Lavar las piezas hasta eleminar residuos				●	⇨	D	□	▼	2.00		
Inspeccionar la limpieza de las piezas				○	⇨	D	■	▼	1.00		Repetir de ser necesario
Trasladar las piezas al tanque de decapado				○	⇨	D	□	▼	0.75	2	
Depositar las piezas en el tanque de decapado				●	⇨	D	□	▼	0.75		
Esperar a que el porceso de decapado termine				○	⇨	●	□	▼	10.00		Proceso de cuidado
Trasladar las piezas al tanque de agua limpia				○	⇨	D	□	▼	0.75	2	Cambio de agua diario
Depositar las piezas en el tanque de agua limpia				●	⇨	D	□	▼	0.75		
Lavar las piezas hasta eleminar residuos				●	⇨	D	□	▼	2.00		
Inspeccionar la limpieza de las piezas				○	⇨	D	■	▼	1.00		Repetir de ser necesario
Trasladar las piezas a la cuba electrolitica				○	⇨	D	□	▼	0.75	2	
Depositar las piezas en la cuba electrolitica				●	⇨	D	□	▼	30.00		Colocacion en el Rack
Encender el rectificador DC para dar inicio al proceso				●	⇨	D	□	▼	0.50		
Esperar a que termine el proceso de galvanizado				○	⇨	●	□	▼	45.00		Verificar °T y A en la esp
Trasladar las piezas al tanque de agua limpia				○	⇨	D	□	▼	0.75	2	Cambio de agua diario
Depositar las piezas en el tanque de agua limpia				●	⇨	D	□	▼	0.75		
Lavar las piezas hasta eleminar residuos				●	⇨	D	□	▼	2.00		
Inspeccionar la limpieza de las piezas				○	⇨	D	■	▼	1.00		Repetir de ser necesario
Trasladar las piezas al tanque de activado				○	⇨	D	□	▼	0.75	2	
Depositar las piezas en el tanque de activado				●	⇨	D	□	▼	0.75		
Esperar a que el porceso de activado termine				●	⇨	D	□	▼	0.20		Proceso de cuidado
Trasladar las piezas al secador electrico				○	⇨	D	□	▼	1.00	4	
Depositar las piezas en el secador electrico				●	⇨	D	□	▼	5.00		No arrojar las piezas
Esperar a que termine el proceso de secado				○	⇨	●	□	▼	15.00		
Trasladar las piezas a recepcion de bodega				○	⇨	D	□	▼	4.00	30	Firmar hoja de recibido
Almacenar el producto en su percha				○	⇨	D	□	▼	45.00	50	Lugares codificados





Figura 41 Flujograma del Proceso de galvanizado [Autor].

Con este flujograma se observa que se propone un tiempo total del proceso de 173 minutos y el trabajador deberá recorrer una distancia aproximada de 136 metros. Con esta propuesta se pueden realizar 2 ciclos de galvanizado al día.

5.9 Matriz de hoja de ruta del proceso de galvanizado para operario

Esta hoja de ruta pretende simplificar las instrucciones para el operario sobre el manejo del proceso de electrodeposición y sus procesos adjuntos de una manera visual y con detalles precisos y cortos de operación, a continuación, se presenta dicha hoja:

Tabla 67 Hoja de ruta del proceso de galvanizado electrolítico para la empresa Impofreico

Etapa	Descripción	Parámetros	Duración
 desengrase	Se lava los acoples que salen cubiertos de aceite del CNC. En una cuba con la mezcla	Mezclar 250ml de desengrasante industrial por cada litro de agua en una cuba limpia	5 minutos
 enjuague	Eliminación de restos de desengrasante, paso 1	En una cuba con agua se sumerge de 2 a 3 veces las piezas para eliminar impurezas	2 minutos
 enjuague	Eliminación de restos de desengrasante, paso 2	En una cuba con agua se sumerge de 2 a 3 veces las piezas para eliminar impurezas	2 minutos
 decapado	Eliminación de impurezas de óxido superficial	En una cuba de PVC u otro polímero resistente al ácido, se vierte 100ml de ácido sulfúrico al 100% de concentración por cada litro de agua	10 minutos



 <p>enjuague</p>	<p>Eliminación de residuos de ácido</p>	<p>Se neutraliza cualquier rastro de ácido en una cuba con agua, sumergir de 2 a 3 veces</p>	<p>2 minutos</p>
 <p>zincado</p>	<p>Baño electrolítico de Zinc</p>	<p>Electrolito: 225kg – ZnCl₂ 630kg – KCl 105kg - H₃BO₃ 2.1L – abrillantador 240L – humectante Otros: - Rack - Agitación con aire Para amperaje ver tabla 66 para los diferentes productos</p>	<p>35 – 40 minutos</p>
 <p>activado</p>	<p>Conversión con cromo sin color</p>	<p>Solución: 1kg – K₂Cr₂O₇ 30cm³ – H₂SO₄</p>	<p>30 segundos</p>
 <p>Secado</p>	<p>Eliminación de humedad</p>	<p>Tambor centrifugo eléctrico con capacidad de 50kg – 220V a una temperatura de 65°C</p>	<p>15 – 20 minutos</p>

Fuente: Autor

5.10 Amperaje para galvanizado de diferentes productos

Tabla 68 Matriz de amperajes óptimos para diferentes productos.

Producto	Descripción	Área (dm ²)	Amperaje requerido (A)
	B-21 TOYOTA CON PUNTA	0.11	0.30
	CAPSULA R-1 3/16	0.23	0.63
	FERRULA LATÓN 3/16	0.21	0.57
	OJO PRENSABLE 3/18	0.44	1.20
	A-HEMBRA 1/8 DATSUN INCORPORADO	0.23	0.62
	SALVAVIDAS PRENSABLE 5/8	0.49	1.33

	A. RÁPIDO HIDRÁULICO 1/2	0.62	1.67
	A. RÁPIDO HIDRÁULICO 1/4	0.32	0.86

Fuente: Autor.

5.11 Croquis de disposición del espacio

La figura 42 muestra un esquema del mapa del área de trabajo para el proceso de galvanizado electrolítico que se considera adecuado para la implementación en la empresa.

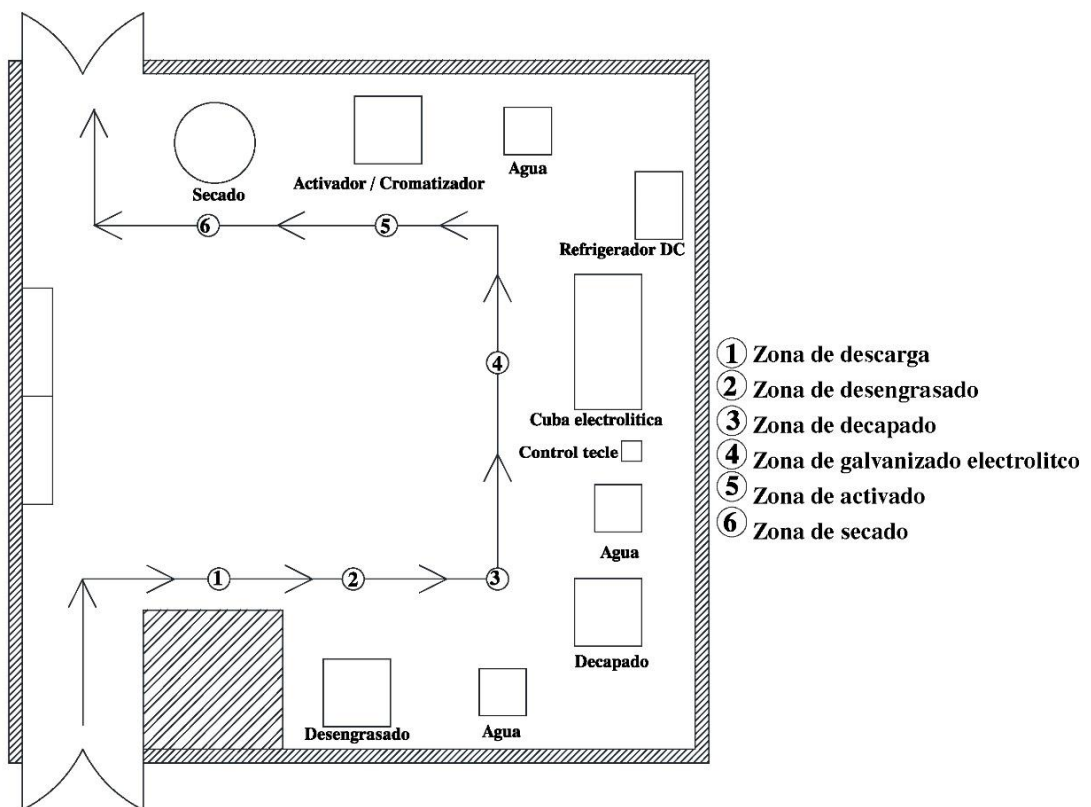


Figura 42 Mapa de área de trabajo del proceso [Autor].

5.12 Análisis de inversión

La empresa Impofreico según los registros internos, en el año 2017 genero 10,3 toneladas de acoples manufacturados, mientras que en el 2018 fueron 9,4 toneladas. Debido a que la empresa no posee los permisos y equipos para realizar el proceso de galvanizado electrolítico en sus instalaciones, este producto es enviado a una empresa externa que presta dichos servicios. Si realizará un estudio económico de la rentabilidad del proyecto con el fin de verificar la rentabilidad de su implementación por lo que en primer lugar necesitamos sacar el costo inicial de inversión.

Tabla 69 Costo Inicial de Inversión

Descripción	Cantidad	Costo
Cuba Electrolítica 3m3, regulación de temperatura	1 unidad	\$5,450.00
Rectificador DC / 1000A - 10kwh - 220V	1 unidad	\$2,150.00
Tambor 3hp - 500kg	1 unidad	\$1,645.00
Tecla 1 Ton	1 unidad	\$850.00
Secador centrifugo 500kg - 90°C	1 unidad	\$1,200.00
Cloruro de zinc	225 kg	\$1,687.50
Cloruro potásico	630 kg	\$4,504.50
Ácido bórico	105 kg	\$241.50
Humectante	240 l	\$1,428.00
Abrillantador	20 l	\$94.00
Construcción área de trabajo	100m2	\$20,000.00
Total Inversión Inicial		\$39,250.50

Fuente: Autor.

A continuación, se procederá a calcular para un tiempo de 5 años y una tasa de interés del 8% que es la que otorga las entidades financieras para empresas en Ecuador, los datos de flujo de caja fueron obtenidos del departamento financiero de la empresa en lo que respecta a productos enviados al galvanizado electrolítico con ello se obtiene el valor actual neto de la inversión, la tasa interna de retorno y el índice de rentabilidad del proyecto

Tabla 70 Análisis VAN, TIR y IRR

Inversión Inicial		\$39,250.50
Tasa interés		8%
Periodo	Flujo de Caja	Valor Presente
0	(\$39,250.50)	(\$39,250.50)
1	10685	9893.518519
2	11753.5	10076.73182

3	12928.85	10263.33797
4	14221.735	10453.39978
5	15643.9085	10646.98126
Valor Actual Neto (VAN)		\$12,083.47
Tasa Interno de retorno (TIR)		10%
Índice de Rentabilidad (IRR)		1.31

Fuente: Autor.

Después de analizar los datos obtenidos se puede observar que el valor actual neto es un valor positivo de \$12,083.47 dólares americanos, la tasa interna de retorno es del 10% con un índice de rentabilidad o razón de beneficio costo de 1.31 esto quiere decir que nuestro proyecto es viable financieramente ya que retornara el capital de inversión a una tasa mayor que la entidad financiera.

5.13 Conclusiones

- La formulación del baño ácido es el resultado de la experimentación en sitio con los acoples fabricados en la empresa Impofreico, esta mezcla química arrojo excelentes resultados al momento del proceso del galvanizado electrolítico por lo que es propuesto para la implementación en el proceso de la empresa
- Se estableció un flujograma detallado con los tiempos y distancias necesarios para la propuesta del proceso de galvanizado electrolítico donde detalla paso a paso las operaciones, transporte, retrasos, inspección y almacenamiento de las piezas, así como también se realizó una hoja de ruta sencilla y practica para que los operarios puedan leer y seguir las instrucciones del proceso.
- Mediante un análisis financiero de VAN, TIR y IRR se comprobó la viabilidad del proyecto donde se observó una buena razón de costo beneficio por lo que implementar el proceso en la empresa generaría ahorros significativos a la empresa a parte de un mejor control del galvanizado electrolítico para evitar reprocesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wordsteel Association, “World Steel in Figures 2019,” 2019, [Online]. Available: <https://www.worldsteel.org/publications/bookshop/product-details~World-Steel-in-Figures-2019~PRODUCT~World-Steel-in-Figures-2019~.html>.
- [2] G. Koch, M. Brongers, and N. Thompson, “Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States,” *Challenges Corros.*, no. FHWA-RD-01-156, pp. 95–126, 2002, doi: 10.1002/9781119069638.ch2.
- [3] J. Simancas and M. Morcillo, “Factores condicionantes de la durabilidad de los sistemas de pinturas anticorrosivas sobre acero en exposiciones atmosféricas,” 1998.
- [4] R. Özdemir, İ. H. Karahan, and O. Karabulut, “A Study on the Electrodeposited Cu-Zn Alloy Thin Films,” *Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci.*, vol. 47, no. 11, pp. 5609–5617, 2016, doi: 10.1007/s11661-016-3715-0.
- [5] C. Tomero, “Recubrimientos anticorrosivos inteligentes y medioambientalmente aceptables basados en nanopartículas de sílice,” 2018.
- [6] C. J. Slunder and W. K. Boyd, *Its Corrosion Resistanc*, 2nd ed. New York: International Lead Zinc Research Organization, 1983.
- [7] X. G. Zhang and E. M. Valeriotte, “Galvanic protection of steel and galvanic corrosion of zinc under thin layer electrolytes,” *Corros. Sci.*, vol. 34, no. 12, pp. 1957–1972, 1993, doi: 10.1016/0010-938X(93)90053-J.
- [8] X. G. Zhang, “Galvanic protection distance of zinc-coated steels under various environmental conditions,” *Corrosion*, vol. 56, no. 2, pp. 139–143, 2000, doi: 10.5006/1.3280529.
- [9] N. C. Hosking, M. A. Ström, P. H. Shipway, and C. D. Rudd, “Corrosion resistance of zinc-magnesium coated steel,” *Corros. Sci.*, vol. 49, no. 9, pp. 3669–3695, 2007, doi: 10.1016/j.corsci.2007.03.032.
- [10] L. L. Barbosa and I. A. Carlos, “Development of a novel alkaline zinc-iron plating bath containing sorbitol and the chemical, physical and morphological characterization of the Zn-Fe films,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 201, no. 3–

- 4, pp. 1695–1703, 2006, doi: 10.1016/j.surfcoat.2006.02.050.
- [11] B. Kavitha, P. Santhosh, M. Renukadevi, A. Kalpana, P. Shakkthivel, and T. Vasudevan, “Role of organic additives on zinc plating,” *Surf. Coatings Technol.*, vol. 201, no. 6, pp. 3438–3442, 2006, doi: 10.1016/j.surfcoat.2006.07.235.
- [12] ASTM A153, “Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware,” *ASTM Stand.*, vol. 02, no. Reapproved 1999, pp. 1–9, 2000.
- [13] ASTM B633, “Standard Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc on Iron and Steel,” *ASTM Stand.*, vol. 02, no. Reapproved, pp. 1–6, 2013, doi: 10.1520/B0633-13.2.
- [14] ASTM B322, “Standard Guide for Cleaning Metals Prior to Electroplating,” *ASTM Stand.*, vol. 99, no. Reapproved 2009, pp. 1–9, 2011, doi: 10.1520/B0322-99R09.Part.
- [15] NTE INEN 671, “RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DE ZINC SOBRE ACERO,” pp. 1–13, 1984.
- [16] NTE INEN 1176:2013, “RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA CORROSION. EVALUACION DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CORROSION ACELERADA,” 2013.
- [17] ALACERO, “América Latina en cifras 2018,” p. 20, 2018, [Online]. Available: https://www.alacero.org/sites/default/files/publicacion/america_latina_en_cifras_2018_es-en.pdf.
- [18] W. F. Smith, *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*, 5 edición. McGraw-Hill, 2014.
- [19] D. R. Askeland, P. P. Fulay, and W. J. Wright, “Askeland 6 Ciencia de los materiales.pdf.” p. 921, 2011.
- [20] J. M. M. Martos, F. de P. G. Cuevas, and J. C. Físico, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ediciones Paraninfo, SA, 2014.
- [21] X. G. Zhang, *Corrosion and Electrochemistry of Zinc*. 1996.
- [22] R. Winand, “Electrodeposition of zinc and zinc alloys,” *Mod. Electroplat.*, pp.

285–307, 2010.

- [23] N. Perez, *Electrochemistry and Corrosion Science*, Second. Springer, Cham, 2016.
- [24] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach*. John Wiley & Sons, 2012.
- [25] R. G. Ehl and A. J. Ihde, “Faraday’s electrochemical laws and the determination of equivalent weights,” *J. Chem. Educ.*, vol. 31, no. 5, p. 226, 1954, doi: 10.1021/ed031p226.
- [26] J. A. Ortega, *Corrosión Industrial*. Marcobo S.A., 1990.
- [27] H. N. Hammer and H. Tilton, “Barrel and Rack Plating for Electronic Applications,” *Am. Electroplat. Soc. Winter Park. FL*, p. 5, 1983.
- [28] N. Kanani, *Electroplating: basic principles, processes and practice*. Elsevier, 2004.
- [29] OpenLearn, “Electroplating.” <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/electroplating>.
- [30] Alibaba, “Rack Tool.” https://www.alibaba.com/product-detail/Feiyide-Customized-Copper-Plating-Rack-for_60729907781.html.
- [31] D. R. Gabe and G. D. Wilcox, “Hull cell,” *Trans. Inst. Met. Finish.*, vol. 71, no. pt 2, pp. 71–73, Jan. 1993, doi: 10.1080/00202967.1993.11870991.
- [32] J. Glayman, G. Farkas, and I. S. Sarasola, *Galvanotecnia: técnica y procedimientos*. Edit. Técnicos Asociados, 1969.
- [33] Q-Lab, “Catalogo de camaras de niebla salina.” <https://www.q-lab.com/products/q-fog-cyclic-corrosion-chamber/>.
- [34] ASTM B117-11, “Standard practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus,” *ASTM Int.*, pp. 1–12, 2011, doi: 10.1520/B0117-11.2.
- [35] J. R. Davis, K. M. Mills, and S. R. Lampman, “Metals handbook. Vol. 1. Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys,” *ASM Int. Mater. Park. Ohio 44073, USA, 1990. 1063*, 1990.
- [36] ASTM B6-13, “Standard Specification for Zinc,” *ASTM Int.*, 2013, doi:

10.1520/B0006-13.

- [37] Centro de Fomento Metalmeccánico Carrocero, “Camara de corrosión acelerada.”

<https://centrocarrocero.tungurahua.gob.ec/index.php/ensayos/laboratorio-de-ensayos-climaticos-y-tratamientos-termicos/#tabs-1-3>.

ANEXOS

Designation: B 633 – 98^{ε1}

Standard Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc on Iron and Steel¹

This standard is issued under the fixed designation B 633; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—In Section 2 and Paragraph 8.1.5, Guide F 1470 was incorrectly cited as Guide F 1740. This was editorially corrected in August 2001.

1. Scope

1.1 This specification covers requirements for electrodeposited zinc coatings applied to iron or steel articles to protect them from corrosion. It does not cover electrodeposited zinc-coated steel wire or sheets (see Specification A 591/A 591M for sheets).

1.2 The coatings are provided in four standard thickness classes (4.1), in the as-plated condition or with one of three types of supplementary finish (4.2).

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 591/A591M Specification for Steel Sheet, Electrolytic Zinc-Coated, for Light Coating Mass Applications²
- B 117 Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus³
- B 183 Practice for Preparation of Low-Carbon Steel for Electroplating⁴
- B 201 Practice for Testing Chromate Coatings on Zinc and Cadmium Surfaces⁴
- B 242 Practice for Preparation of High-Carbon Steel for Electroplating⁴
- B 254 Practice for Preparation of and Electroplating on Stainless Steel⁴
- B 320 Practice for Preparation of Iron Castings for Electroplating⁴
- B 322 Practice for Cleaning Metals Prior to Electroplating⁴

B 374 Terminology Relating to Electroplating⁴

B 487 Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thicknesses by Microscopical Examination of a Cross Section⁴

B 499 Test Method for Measurement of Coating Thicknesses by the Magnetic Method: Nonmagnetic Coatings on Magnetic Basis Metals⁴

B 504 Test Method for Measurement of Thickness of Metallic Coatings by the Coulometric Method⁴

B 567 Test Method for Measurement of Coating Thickness by the Beta Backscatter Method⁴

B 568 Test Method for Measurement of Coating Thickness by X-Ray Spectrometry⁴

B 571 Test Methods for Adhesion of Metallic Coatings⁴

B 602 Test Method for Attribute Sampling of Metallic and Inorganic Coatings⁴

B 697 Guide for Selection of Sampling Plans for Inspection of Electrodeposited Metallic and Inorganic Coatings⁴

B 762 Test Method of Variables Sampling of Metallic and Inorganic Coatings⁴

D 2092 Guide for Treatment of Zinc-Coated (Galvanized) Steel Surfaces for Painting⁵

F 1470 Guide for Fastener Sampling for Specified Mechanical Properties and Performance Inspection⁶

2.2 Military Standard:

MIL-STD-1312 Fastener Tests, Methods (Test 12)⁷

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of the terms used in this specification are in accordance with Terminology B 374.

4. Classification

4.1 *Thickness*—The coating shall be provided in the four thickness classes defined in Table 1.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee B08 on Metallic and Inorganic Coatings and is the direct responsibility of Subcommittee B08.08.04 on Light Metals.

Current edition approved Nov. 10, 1998. Published March 1999. Originally published as B 633 – 78. Last previous edition B 633 – 85 (1994).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.06.

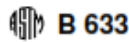
³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.05.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 06.02.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.08.

⁷ Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, Attn: NPODS.


TABLE 1 Thickness Classes for Coatings

Classification ^A Number and Conversion Coating Suffix	Service Condition ^{B,C}	Thickness, min μm
Fe/Zn 25	SC 4 (very severe)	25
Fe/Zn 12	SC 3 (severe)	12
Fe/Zn 8	SC 2 (moderate)	8
Fe/Zn 5	SC 1 (mild)	5

^AIron or steel with zinc electroplate. Numeral indicates thickness in micrometres.

^BSee Appendix X2.

^CWhere service conditions are valid only for coatings with chromate conversion coating. Type II for SC 4 and SC 3 and Type III for SC 2 and SC 1.

4.2 *Finish*—The coating shall have one of the finish types defined as follows:

Type	Description
I	As-plated without supplementary treatment
II	With colored chromate conversion coatings
III	With colorless chromate conversion coatings
IV	With phosphate conversion coatings

5. Ordering Information

5.1 When ordering the electroplating of articles, the purchaser shall state the designation number, the date of issue, the class or service condition number, and the type. (See 4.1, 4.2, and 7.1).

5.2 If necessary, the purchaser shall include on his part drawings or purchase order the following:

5.2.1 Electroplating application to high strength steel, if specified (6.4),

5.2.2 Thickness, if other than specified (4.1, 7.1),

5.2.3 Location of significant surface (7.1.1, 7.1.2),

5.2.4 Luster (7.3),

5.2.5 Corrosion resistance test, if specified (9.3, 10.3),

5.2.6 Hydrogen embrittlement test, if required (9.4, 10.4),

5.2.7 Sample size for inspection, if other than specified, and

5.2.8 Supplementary requirements, if applicable (Supplementary Requirement).

6. Materials and Manufacture

6.1 The coatings shall be essentially pure zinc produced by electrodeposition.

6.2 Defects in the surface of the basis metal, such as scratches, porosity, pits, inclusions, cracks, roll marks, and die marks, may adversely affect the appearance and performance of coatings applied thereto despite the observance of the best electroplating practices. Accordingly, the electroplater's responsibility for defects in the coating resulting from such conditions shall be waived, except when he is the prime contractor supplying electroplated parts. In this event, the basis metal shall be subjected to such polishing or buffing operations as are necessary to yield deposits with the desired final luster and appearance. To minimize problems of this sort, the specifications covering the basis material on the item to be electroplated shall contain appropriate limitations to such basis metal conditions.

6.3 *Cleaning of Basis Metal*—Proper preparatory procedures and thorough cleaning of the basis metal are essential to ensure satisfactory adhesion and corrosion resistance performance of the coating. It is recommended that the following appropriate recommended practices be used: B 183, B 242,

B 254, B 320, and B 322.

6.4 *High-Tensile Strength Metals*—Unless otherwise specified, high strength steels having a tensile strength greater than 1700 MPa shall not be electroplated.

6.5 *Stress Relief*—All steel parts having an ultimate tensile strength of 1000 MPa and above, and that have been machined, ground, cold formed or cold straightened, shall be heat treated at a minimum of 190°C for 3 h or more for stress relief before cleaning and electroplating.

6.6 *Hydrogen Embrittlement Relief*—All electroplated parts having a tensile strength of 1200 MPa or higher shall be baked at a minimum of 190°C for 3 h or more within 4 h after electroplating to provide hydrogen embrittlement relief. Electroplated springs and other parts subject to flexure shall not be flexed before the hydrogen embrittlement relief treatment. The baking treatment shall be done before the application of the supplementary treatments. Baked parts shall not crack or fail by fracture when tested in accordance with 10.4.

6.7 *Reactivation Treatment*—Electroplated surfaces passivated as a result of the baking operation shall be reactivated before receiving a supplementary treatment. Surfaces intended for supplementary treatments (Types II and III) may be reactivated by immersion in a dilute acid solution. Surfaces should be activated as soon as possible following baking and should be handled carefully to avoid contamination.

6.8 *Supplementary Treatments*—The supplementary film treatment for Types II and III shall be in accordance with Practice B 201. The treatment required for conversion to Type IV shall be in accordance with Guide D 2092.

NOTE 1—The zinc surface is attacked by supplementary treatments, thereby diminishing the amount of metallic zinc present. With Classes Fe/Zn25 and Fe/Zn13, this reduction is insignificant; but it is significant with Fe/Zn8 and Fe/Zn5. Therefore, it is recommended that supplementary treatments not be applied to zinc coatings having a nominal thickness less than 5 μm.

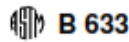
7. Coating Requirements

7.1 *Thickness*—The thickness shall be specified in accordance with 4.1 and 5.1.

7.1.1 *Significant Surfaces*—Significant surfaces are areas in which minimum thicknesses to be met shall be designated on the applicable drawing or by the provision of a suitably marked sample. Significant surfaces may be defined as those normally visible, directly or by reflection, which are essential to the appearance or serviceability of the article when assembled in normal position or which can be the source of corrosion products that deface visible surfaces on the assembled article.

7.1.2 Surfaces on which the specified thickness of deposit cannot readily be controlled, such as threads, holes, deep recesses, bases of angles, and similar areas, are normally exempt from minimum thickness requirements, unless they are specially designated as not exempt. When such areas are designated, and thus made subject to minimum thickness requirements, the purchaser and the manufacturer shall recognize the necessity for either thicker deposits on other areas or for special racking.

NOTE 2—The dimensional tolerance of most threaded articles, such as nuts, bolts, screws, and similar fasteners with complementary threads, normally does not permit the application of a coating thickness much



greater than 8.0 μm . If heavier coatings are required, allowance for the deposit buildup must be made during the manufacture of the threaded articles.

7.2 Adhesion—The adhesion of the coating shall be such that when examined in accordance with 10.2, the coating shall not show separation from the basis metal at the interface.

7.3 Luster—Unless otherwise specified by the purchaser, a bright, semibright, or dull luster shall be acceptable.

7.4 Corrosion Resistance—Zinc coatings with Types II and III treatments shall show neither corrosion products of zinc nor basis metal corrosion products at the end of the test period, as shown below, when tested by continuous exposure to salt spray in accordance with 10.3. The appearance of corrosion products visible to the unaided eye at normal reading distance shall be cause for rejection except that white corrosion products at the edges of specimens shall not constitute failure.

Corrosion Resistance Requirements	
Types	Test Period, h
II	96
III	12

7.5 Workmanship—The surface of the electroplated article shall be uniform in appearance, free of visible coating defects, such as blisters, pits, roughness, nodules, burning, cracks, or unplated areas, and other defects that will affect the function of the coating. The coating shall not be stained or discolored. However, superficial staining that results from rinsing or slight discoloration resulting from any drying or baking operation to relieve hydrogen embrittlement, shall not be cause for rejection. On articles in which a visible contact mark is unavoidable, its position shall be that chosen by the purchaser. The electroplated article shall be clean and free of damage.

8. Sampling

8.1 The purchaser and producer are urged to use statistical process control in the coating process. Properly performed, statistical process control will assure coated products of satisfactory quality and will reduce the amount of acceptance inspection. The sampling plan used for the inspection of the quality coated article shall be agreed upon between the purchaser and producer.

8.1.1 When a collection of coated articles (inspection lot, see 8.2) is examined for compliance with the requirements placed on the articles, a relatively small number of the articles (sample) is selected at random and is inspected. The inspection lot is then classified as complying with the requirements based on the results of the inspection of the sample. The size of the sample and the criteria for compliance are determined by the application of statistics. The procedure is known as sampling inspection. Test Method B 602, Guide B 697, and Test Method B 762 contain sampling plans that are designed for sampling inspection of coatings.

8.1.2 Test Method B 602 contains four sampling plans, three for use with tests that are nondestructive and one when they are destructive. Test Method B 602 provides a default plan if one is not specified.

8.1.3 Guide B 697 provides a large number of plans and also gives guidance in the selection of a plan. Guide B 697 provides a default plan if one is not specified.

8.1.4 Test Method B 762 can be used only for coating

requirements that have a numerical limit, such as coating thickness. The test must yield a numeric value and certain statistical requirements must be met. Test Method B 762 contains several plans and also gives instructions for calculating plans to meet special needs. Test Method B 762 provides a default plan if one is not specified.

8.1.5 Guide F 1470 can be used for fasteners such as internally threaded, externally threaded, and nonthreaded fasteners and washers. This guide provides for two plans: one designated the “detection process” and one designated the “prevention process.” The purchaser and producer shall agree on the plan to be used.

8.2 An inspection lot shall be defined as a collection of coated articles that are the same kind, that have been produced to the same specification, that have been coated by a single supplier at one time or approximately the same time, under essentially identical conditions, and that are submitted for acceptance or rejection as a group.

9. Specimen Preparation

9.1 *Electroplated Parts or Separate Specimens*—When the electroplated parts are of such form, shape, size, and value as to prohibit use thereof, or are not readily adaptable to a test specified herein, or when destructive tests of small lot sizes are required, the test shall be made by the use of separate specimens plated concurrently with the articles represented. The separate specimens shall be of a basis metal equivalent to that of the articles represented. “Equivalent” basis metal includes chemical composition, grade, condition, and finish of surface before electroplating. For example, a cold-rolled steel surface should not be used to represent a hot-rolled steel surface. Because of the impracticality of forging or casting separate test specimens, hot-rolled steel specimens may be used to represent forged and cast steel articles. The separate specimens may also be cut from scrap castings when ferrous alloy castings are being electroplated. These separate specimens shall be introduced into a lot at regular intervals before the cleaning operations, preliminary to electroplating, and shall not be separated therefrom until after completion of electroplating. Conditions affecting the electroplating of specimens, including the spacing, plating media, bath agitation, temperature, and so forth, in respect to other objects being electroplated, shall correspond as nearly as possible to those affecting the significant surfaces of the articles represented. Unless a need can be demonstrated, separately prepared specimens shall not be used in place of production items for nondestructive and visual examinations.

9.2 *Thickness and Adhesion Specimens*—If separate specimens for thickness and adhesion tests are required, they shall be strips approximately 25 mm wide, 100 mm long, and 1 mm thick.

9.3 *Corrosion Resistance Specimens*—If separate specimens for corrosion resistance tests are required, they shall be panels not less than 150 mm long, 100 mm wide, and approximately 1 mm thick.

9.4 *Hydrogen Embrittlement Specimens*—If specimens are required, the configuration shall be that specified by the purchaser.

 **B 633**
10. Test Methods**10.1 Thickness:**

10.1.1 The thickness of the coating may be determined by Test Methods B 487, B 499, B 504, B 567, or B 568, as applicable.

10.1.2 MIL-STD-1312, Test 12, may be used for thickness measurements of electroplated fastener hardware.

10.1.3 Other methods may be used if it can be demonstrated that the uncertainty of the measurement with these methods is less than 10 %.

10.1.4 Make thickness measurements of zinc electroplatings, Types II, III, and IV, after application of the supplementary treatments. When Test Methods B 504, B 567, or B 568 are used, remove the supplementary treatment before testing. The chromate film may be removed from Type II and Type III coatings by using a very mild abrasive (a paste of levigated alumina rubbed on with the finger). The phosphate coating may be removed from Type IV coating by a concentrated (28 %) ammonia solution that quickly dissolves the phosphate coating but does not attack the underlying zinc.

10.2 *Adhesion*—Determine adhesion by any suitable procedure in accordance with Test Method B 571.

10.3 *Corrosion Resistance*—When specified in the contract or purchase order, determine the corrosion resistance in accordance with Practice B 117. Subject the selected samples to the salt spray test; the length of time to be applicable for the type of supplementary coating shall be in accordance with the requirements of 7.4. To secure uniformity of results, age Types II and III supplementary coatings at room temperature for 24 h before subsection to the salt spray.

10.4 *Hydrogen Embrittlement Relief*—When specified in the contract or purchase order, prepare and test the satisfactory behavior of parts to indicate freedom from hydrogen embrittlement.

10.5 *Visual Examination*—Examine material for compliance with the requirements of luster (7.3) and workmanship (7.5) after electroplating.

11. Rejection

11.1 Coatings not conforming to this specification or to authorized modification shall be rejected. They may be reconsidered for inspection in accordance with Test Method B 602.

12. Certification

12.1 The purchaser may require in the purchase order or contract that the producer or supplier provide certification that the finish was produced and tested in accordance with this specification and found to meet the requirements. The purchaser may similarly require that a report of the test results be furnished.

13. Packaging and Packing

13.1 Preservation, packaging, and packing methods for zinc-electroplated parts or articles used by a supplier shall be such as to preclude damaging during shipment and handling.

14. Keywords

14.1 electrodeposited coatings; zinc; zinc, electrodeposited coatings

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following supplementary requirement shall apply only when specified by the purchaser as part of the purchaser's order or contract and for all agencies of the United States Government.

S1. Responsibility for Inspection

S1.1 The producer or supplier shall be responsible for the performance of all inspection requirements as specified herein. Except as otherwise specified in the contract or order, the supplier may use his own or any other facilities suitable for the performance of the inspection requirements specified herein

unless disapproved by the purchaser. The purchaser retains the right to perform any of the inspections and tests set forth in this specification where such inspections and tests are deemed necessary to ensure that supplies and services conform to the prescribed requirements.



B 633

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. SERVICE LIFE OF ZINC

X1.1 The service life of zinc coating is a function of its thickness and the type of environment to which it is exposed. While the conditions of exposure and uses of electroplated metal are so varied that it is not definitely possible to predict the exact life of articles protected by a coating of a given thickness, those using zinc coatings can draw on the wealth of practical experience at hand, supplemented by results of corrosion tests carried out over the years. As a result of large-scale and long-range tests conducted by ASTM and other organizations, there is excellent information on the corrosion behavior of zinc and zinc coatings. The following data, based on worldwide testing, may be used to compare the behavior of electrodeposited coatings of zinc in various atmospheres. The

values are only relative, since individual studies in various parts of the world have resulted in figures which vary widely from these averages.

Atmosphere	Mean Corrosion Rate
Industrial	5.6 $\mu\text{m}/\text{year}$
Urban nonindustrial or marine	1.5 $\mu\text{m}/\text{year}$
Suburban	1.3 $\mu\text{m}/\text{year}$
Rural	0.8 $\mu\text{m}/\text{year}$
Indoors	considerably less than 0.5 $\mu\text{m}/\text{year}$

NOTE X1.1—The mean corrosion rate given pertains to zinc only and does not include a corrosion rate when zinc is passivated or in contact with other materials.

X2. EXAMPLES OF APPROPRIATE SERVICE CONDITIONS AND DESCRIPTION OF SERVICE CONDITIONS

X2.1 *SC 4—Very Severe*—Exposure to harsh conditions, or subject to frequent exposure to moisture, cleaners, and saline solutions, plus likely damage by denting, scratching, or abrasive wear. Examples are: plumbing fixtures, pole line hardware.

X2.2 *SC 3—Severe*—Exposure to condensation, perspiration, infrequent wetting by rain, and cleaners. Examples are: tubular furniture, insect screens, window fittings, builder's hardware, military hardware, washing machine parts, bicycle parts.

X2.3 *SC 2—Moderate*—Exposure mostly to dry indoor atmospheres but subject to occasional condensation, wear, or abrasion. Examples are: tools, zippers, pull shelves, machine parts.

X2.4 *SC 1—Mild*—Exposure to indoor atmospheres with rare condensation and subject to minimum wear or abrasion. Examples are: buttons, wire goods, fasteners.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1176:2013
Primera revisión

RECUBRIMIENTOS METÁLICOS Y NO ORGÁNICOS. MÉTODO DE ENSAYO DE CORROSIÓN. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA.

Primera Edición

METALLIC AND OTHER INORGANIC COATING ON METALLIC SUBSTRATES. RATING OF TEST SPECIMENS SUBJECTS TO CORROSION TESTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Recubrimientos metálicos y no orgánicos, decorativos , protectores, anódicos y catódicos, clasificación de la protección, tipos de deterioro, evaluación.

MT: 05.01-309

CDU: 689.408.2:196

CIIU: 2892

ICS: 25.220.40

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	RECUBRIMIENTOS METALICOS Y NO ORGÁNICOS. MÉTO DE ENSAYO DE CORROSIÓN. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA.	NTE INEN 1176: 2013 Primera revisión 2013-09
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método de evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada, de artículos con recubrimiento metálico</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a recubrimientos metálicos y no orgánicos decorativos y protectores anódicos o catódicos sobre base metálica. El método toma en cuenta la corrosión del metal base.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Superficie significativa. Es la parte de la superficie que es esencial en el aspecto o apta para uso de la pieza que debe ser o ha sido recubierta por el recubrimiento. En caso necesario, la superficie significativa debe ser objeto de acuerdo entre las partes interesadas, y debe indicarse en dibujos o en muestras marcadas.</p> <p>3.2 Mancha de corrosión. Defecto superficial consecuencia de la corrosión, en el cual el recubrimiento está penetrado, indicado por la apariencia de corrosión del metal base o por levantamiento del recubrimiento. La decoloración u otros defectos superficiales que no penetren el recubrimiento, no cuentan como manchas de corrosión. El tamaño de una mancha de corrosión es el área de penetración a través del recubrimiento y no el área de la decoloración asociada.</p> <p>3.3 Clasificación de la protección. Es un número clasificación que indica la capacidad del recubrimiento para proteger al metal base de la corrosión.</p> <p>3.4 Clasificación de apariencia. En un símbolo asignado para describir el aspecto general de la muestra tomando en cuenta todos los defectos debidos a la exposición.</p> <p style="text-align: center;">4. INSPECCIÓN</p> <p>4.1 Muestreo</p> <p>4.1.1 Se utilizan dibujos o muestras adecuadamente marcadas para indicar la superficie significativa (ver figura 1 y figura 2).</p> <p>4.1.2 Si se daña deliberadamente la superficie de la pieza, se anota el defecto antes de realizar el ensayo e incluir esta información en el informe clasificándolos separadamente.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Recubrimientos metálicos y no orgánicos, decorativos, protectores anódicos y catódicos, clasificación de la protección, tipos de deterioro, evaluación.</p>		

4.1.3 El material puede ser inspeccionado en lugares adecuados asegurándose que la iluminación durante la inspección sea lo más uniforme posible; deben evitarse reflejos directos del sol o las nubes y examinar la probeta desde varios ángulos para asegurarse que todos los defectos sean descubiertos.

4.1.4 Una vez realizado el ensayo de corrosión específica para cada recubrimiento y cada metal base, la superficie puede limpiarse con una esponja humedecida en una solución de jabón suave y enjuagarse con agua corriente para remover suciedad, depósitos salinos, etc. Sin embargo se debe tener cuidado de no ejercer presión durante el lavado para evitar aumentar la clasificación accidentalmente.

4.1.5 Se deja que las superficies se sequen antes de realizar la inspección.

4.1.6 Los defectos anotados y tomados en cuenta para la clasificación de la superficie incluyen sólo aquellos que pueden ser observados a simple vista o con ayuda de gafas correctoras.

4.1.7 Los defectos de borde, marcas de contacto o soportes, orificios de montaje etc., no deben ser tomados en cuenta para la clasificación.

4.1.8 Cuando el recubrimiento sea anódico con respecto al metal base, los productos de corrosión blancos no deben ser tomados en cuenta como defectos.

4.1.9 Para facilitar la inspección, queda confinado a un área mínima posible, preferentemente inferior a los 100 mm² en un superficie de 100 mm x 150 mm.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Esta norma establece un sistema de clasificación para evaluar la degradación del recubrimiento y del metal base debido a la corrosión. El método consiste en evaluar el aspecto del recubrimiento y la extensión de la corrosión en la superficie de piezas sometidas a ensayos de corrosión. El resultado de la inspección de la superficie, llamado clasificación de comportamiento, se anotará como dos clasificaciones separadas, la clasificación de la protección (R_p) y la clasificación de apariencia (R_a).

Cuando solo se requiera la clasificación de la protección (R_p), se puede omitir la clasificación de la apariencia (R_a) con un guión (-) para indicar la omisión deliberada de la misma.

5.2 Resultados

5.2.1 El sistema de clasificación numérica está basado en el área superficial que muestra corrosión, mediante la ecuación siguiente:

$$R_p = 3 \times (2 - \log A)$$

En donde:

A = es el porcentaje del área total que presenta corrosión el metal base (ver nota 1)

NOTA 1. La ecuación es de aplicación sólo cuando $A > 0,046$ 416% debido a que la ecuación conduce a clasificaciones numéricas superiores a 10 para muestras cuyas áreas son muy pequeñas.

(Continúa)

Adjudicar una clasificación a la protección como se indica en la tabla siguiente:

TABLA 1. Clasificación de la protección (R_p) y según la apariencia (R_A)

SUPERFICIE DEFECTUOSA A (%)	R_p o R_A
Sin defectos	10
$0 < A \leq 0,1$	9
$0,1 < A \leq 0,25$	8
$0,25 < A \leq 0,5$	7
$0,5 < A \leq 1,0$	6
$1,0 < A \leq 2,5$	5
$2,5 < A \leq 5,0$	4
$5,0 < A \leq 10$	3
$10 < A \leq 25$	2
$25 < A \leq 50$	1
$50 < A$	0

Adjudicar una clasificación de la apariencia como se indica en la tabla siguiente:

TABLA 2. Tipos de deterioro del recubrimiento

A	Mancha y/o decoloración debida al deterioro del recubrimiento (distintos aquellos que obviamente son productos de la corrosión del metal base)
B	Deslustre con poca o nula corrosión visible del recubrimiento
C	Productos de corrosión de un recubrimiento anódico
D	Productos de corrosión de un recubrimiento catódico
E	Picaduras de la superficie (picaduras de corrosión que probablemente no llegan hasta el metal base)
F	Desconchado
G	Ampollas
H	Fisuras
I	Cuarteamiento
J	Pata de gallo o defectos en forma estrella

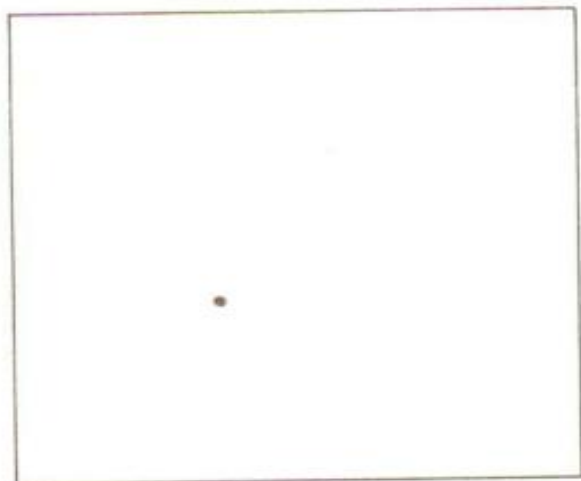
5.2.2 El resultado se asignará por la combinación de la clasificación de la protección (R_p) seguida por una barra oblicua (/) y por la clasificación de la apariencia (R_A).

Ejemplo:

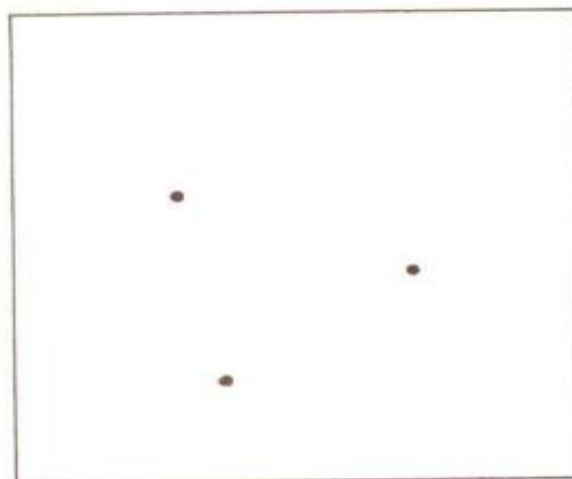
Muestras de corrosión del metal base en un 0,1% del área total, y donde el 20% de la superficie está manchada: 9/2.

(Continúa)

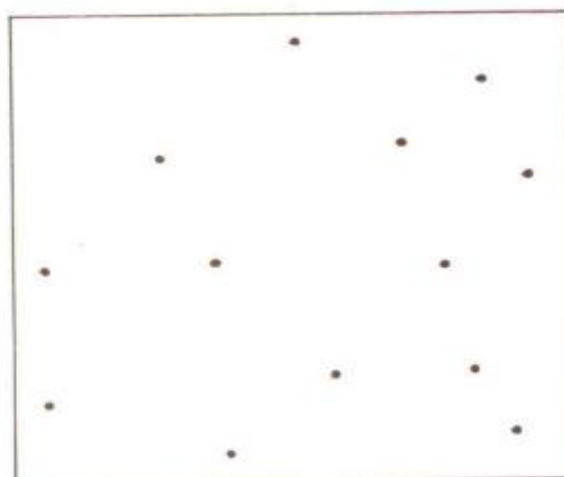
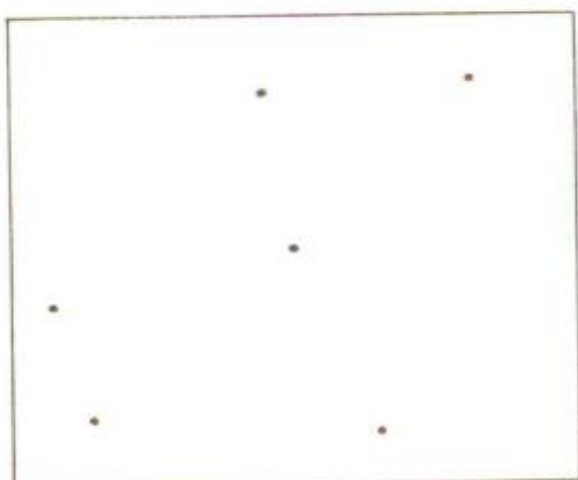
FIGURA 1. Ejemplo de superficie con clasificación a la protección 7 – 0 para recubrimientos catódicos



7

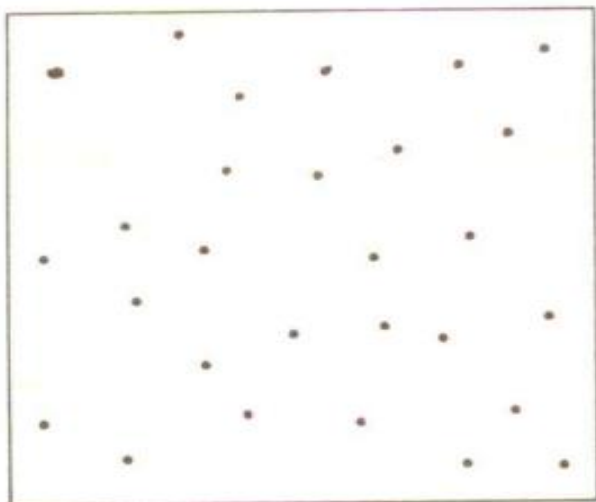


6

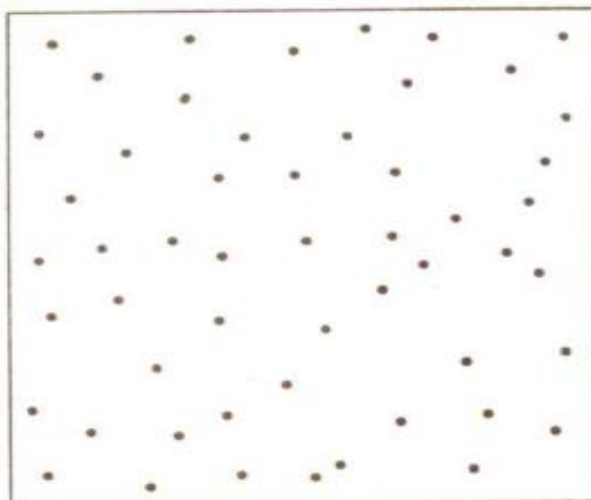


(Continúa)

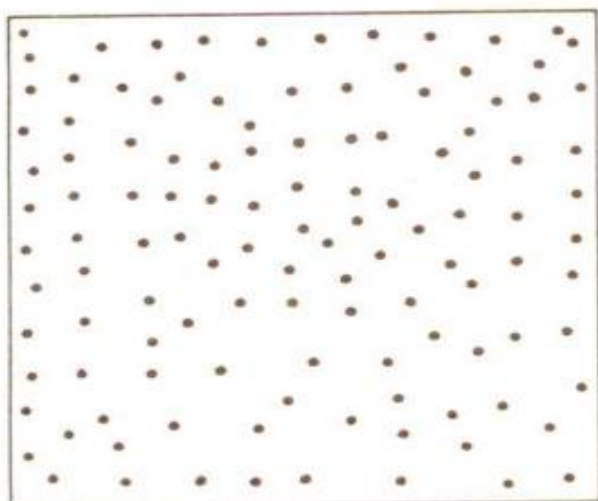
FIGURA 1. Ejemplo de superficie con clasificación a la protección 9 – 0 para recubrimientos catódicos (Continuación)



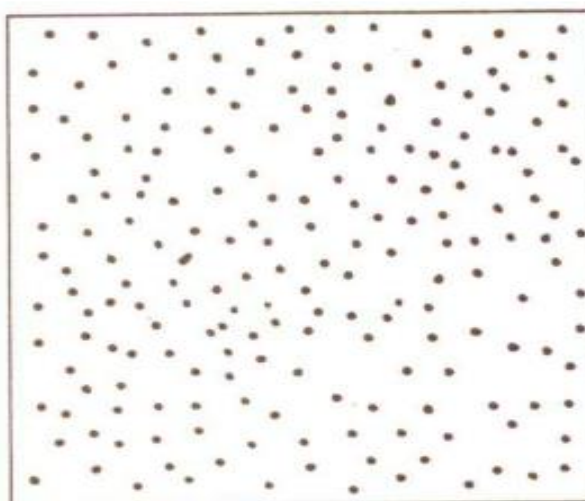
3



2



1



0

(Continúa)

APENDICE Z**Z.1 DOCUMENTO NORMATIVO A CONSULTAR**

Esta norma no requiere de otras para su aplicación.

Z.2 BASE DE ESTUDIO

UNE-EN ISO 10289:2001. *Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.* Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid. 2001.

ANEXO 2: NORMA INEN 1176
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 1176 Primera revisión	TÍTULO: RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. MÉTODO DE ENSAYO DE CORROSIÓN. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA	Código: MT 05.01-309
--	--	--------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1984-05-10 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo Ministerial No. 575 del 1984-08-09 publicado en el Registro Oficial No. 80 del 1984-12-05 Fecha de iniciación del estudio: 2012-07-27
--	--

Fechas de consulta pública: 2012-12-26 a 2013-01-24

Subcomité Técnico: Fecha de iniciación: Integrantes del Subcomité Técnico:	Fecha de aprobación:
---	-----------------------------

Mediante compromiso presidencial N° 16364, el Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN, en vista de la necesidad urgente, resuelve actualizar el acervo normativo en base al estado del arte y con el objetivo de atender a los sectores priorizados así como a todos los sectores productivos del país.

Para la revisión de esta Norma Técnica se ha considerado el nivel jerárquico de la normalización, habiendo el INEN realizado un análisis que ha determinado su conveniente aplicación en el país.

La Norma en referencia ha sido sometida a consulta pública por un período de 30 días y por ser considerada EMERGENTE no ha ingresado a Subcomité Técnico.

Otros trámites: ♦4 Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20

Esta NTE INEN 1176:2013 (primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 1176:1984

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria Registro Oficial No. 75 de 2013-09-06	Por Resolución No. 13279 de 2013-07-31
--	--

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

**LABORATORIO DE ENSAYOS CLIMÁTICOS Y
TRATAMIENTOS TÉRMICOS
ENSAYO DE NIEBLA SALINA NEUTRA**

INFORME DE RESULTADOS N°: 180388964920200721-ENS

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: TT_2020_001.

Empresa / Cliente: Carlos Andrade.

RUC/C.I.: 1803889649.

Dirección: Ambato.

Teléfono: +593995039827.

Correo: carlos_andrade45@yahoo.com.

DATOS DEL ENSAYO:

Lugar de Ejecución de Ensayo: Laboratorio de Ensayos Climáticos.

Dirección del Laboratorio: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo:

ASTM B117 - 19.- Práctica estándar para operar aparatos de niebla salina (niebla).

NTE INEN 1176:2013.- Recubrimientos metálicos y no orgánicos. Método de ensayo de corrosión. Evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada.

Especificación del material: Metálico AISI 12L14.

Evaluación de la conformidad: Clasificación para evaluar la degradación del recubrimiento y del metal base debido a la corrosión.

Equipo utilizado: Cámara de niebla salina

Modelo: SSC-400

N° de fabricación: 3477/14

Colocación de probetas: Las probetas se colocaron en el interior de la cámara de ensayo en posición tal que mantienen un ángulo entre 15° y 30° respecto a la vertical.

Duración del ensayo: 12 horas.

Cloruro de sodio: (5 ± 1) partes de masa **Agua destilada:** 95 partes de masa.

Fecha de evaluación de resultados: 2020/10/05.

Método de evaluación: Clasificación de la protección (R_p) y la clasificación de apariencia (R_A) utilizando técnica visual (norma NTE INEN 1176:2013).

Fecha Inicio de Ensayo: 2020/10/01 **Fecha Finalización de Ensayo:** 2020/10/01.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *materiales metálico AISI 12L14 con recubrimiento anticorrosivo*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Ensayos climáticos y tratamientos térmicos del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

Observaciones: Las condiciones iniciales y durante el transcurso del ensayo de corrosión se encuentran reportadas en el informe **R-180388964920200721-ENS**.

Elaborado por:		Aprobado por:
Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Luis Mayorga G. Meng.	Ing. Jorge Rodas B. MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Supervisor área I+D+I del CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 27 de octubre de 2020.

N°. Factura: 001-002-000009614.

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



OBJETOS DE ENSAYO

Identificación	Experimento	Disposición	Tiempo	Agitación	Número de probetas
1T1E	E-1	Tambor	Si	41	10
1T2E	E-2	Tambor	No	41	10
1T3E	E-3	Tambor	Si	27	10
1T4E	E-4	Tambor	No	27	10
1T5E	E-5	Tambor	Si	41	10
1T6E	E-6	Rack	Si	27	10
1T7E	E-7	Rack	Si	27	10
1T8E	E-8	Rack	Si	41	10
2T1E	E-9	Tambor	Si	27	10
2T2E	E-10	Tambor	No	41	10
2T3E	E-11	Tambor	Si	41	10
2T4E	E-12	Rack	No	41	10
2T5E	E-13	Rack	No	27	10
2T6E	E-14	Tambor	No	41	10
2T7E	E-15	Rack	Si	41	10
2T8E	E-16	Rack	No	41	10
3T1E	E-17	Rack	Si	27	10
3T2E	E-18	Tambor	No	27	10
3T3E	E-19	Rack	No	27	10
3T4E	E-20	Rack	No	27	10
3T5E	E-21	Rack	Si	41	10
3T6E	E-22	Tambor	No	27	10
3T7E	E-23	Tambor	Si	27	10
3T8E	E-24	Rack	No	41	10
Control	E-25	-	-	-	10
Optimo Rack	E-26	Rack	Si	34	10
Optimo Tambor	E-27	Tambor	Si	70	10

Nota: La fabricación de las probetas y su configuración, están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Especificaciones Técnicas de Insumos de Ensayo	
Cloruro de sodio	
Riqueza mínima (Arg.)	99,5 %
pH de una solución al 5%	5,0-8,0
Límite máximo de impurezas	
Materia insoluble	0,005%
Pérdida por desecación a 105°C	0,2%
Compuestos de Nitrógeno	0,001%
Bromuro (Br)	0,005%
Fosfato (PO4)	0,0005%
Sulfato (SO4)	0,001%
Yoduro (I)	0,001 %
Clorato y nitrato (en NO3)	0,003%
Hexacianoferrato(II) y (III)	0,0001%
Metales pesados	0,0005 %
Agua desmineralizada (NTE INEN 1545)	
Dureza	Max. 0.80 ppm
Alcalinidad Total	Max. 2.00 ppm
STD	0.00 ppm
pH	6-6.5
Conductividad	Max 4.00 ps/cm
Sílice	Max. 5.00 ppm
Sabor/Color	Excento

Clasificación de comportamiento de la superficie (NTE INEN 1176)	
Superficie defectuosa A (%)	R_p o R_A
Sin defectos	10
$0 < A \leq 0,1$	9
$0,1 < A \leq 0,25$	8
$0,25 < A \leq 0,5$	7
$0,5 < A \leq 1,0$	6
$1,0 < A \leq 2,5$	5
$2,5 < A \leq 5,0$	4
$5,0 < A \leq 10$	3
$10 < A \leq 25$	2
$25 < A \leq 50$	1
$50 < A$	0

Tipos de deterioro del recubrimiento	
A	Mancha y/o decoloración debida al deterioro del recubrimiento (distintos aquellos que obviamente son productos de la corrosión del metal base).
B	Deslustre con poca o nula corrosión visible del recubrimiento
C	Productos de corrosión de un recubrimiento anódico
D	Productos de corrosión de un recubrimiento catódico
E	Picaduras de la superficie (picaduras de corrosión que probablemente no lleguen hasta el Metal Base)
F	Desconchado
G	Ampollas
H	Fisuras
I	Cuarreamiento
J	Pata de gallo o defectos en forma estrella

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA







Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Evaluación de resultados:

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T1E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
1T1E1		0	0A	0/0A
1T1E2		0	0A	0/0A
1T1E3		1	0G	1/0G
1T1E4		0	0A	0/0A
1T1E5		2	1G	2/1G
1T1E6		0	0G	0/0G

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



1T1E7		1	0G	1/0G
1T1E8		0	0A	0/0A
1T1E9		0	0A	0/0A
1T1E10		1	1A	1/1A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T2E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección <i>R_p</i>	Apariencia <i>R_A</i>	
1T2E1		0	0A	0/0A
1T2E2		3	2A	3/2A








ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua


1T2E3		0	0A	0/0A
1T2E4		0	0A	0/0A
1T2E5		0	0A	0/0A
1T2E6		0	0A	0/0A
1T2E7		1	1G	1/1G
1T2E8		1	0A	1/0A
1T2E9		0	0A	0/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA








Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



1T2E10		0	0A	0/0A
--------	---	---	----	------

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T3E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
1T3E1		0	0A	0/0A
1T3E2		0	0A	0/0A
1T3E3		1	1A	1/1A
1T3E4		1	0A	1/0A
1T3E5		2	1G	2/1G






ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA




Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

1T3E6		2	1G	2/1G
1T3E7		2	0G	2/0G
1T3E8		3	1G	3/1G
1T3E9		0	1A	0/1A
1T3E10		2	0G	2/0G

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T4E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
1T4E1		1	0A	1/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



**Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua**

1T4E2		2	0G	2/0G
1T4E3		2	1A	2/1A
1T4E4		2	1G	2/1G
1T4E5		1	0A	1/0A
1T4E6		2	1G	2/1G
1T4E7		2	0A	2/0A
1T4E8		2	0A	2/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



1T4E9		2	0A	2/0A
1T4E10		3	0G	3/0G

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T5E	Período de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección <i>R_P</i>	Apariencia <i>R_A</i>	
1T5E1		0	0A	0/0A
1T5E2		0	0A	0/0A
1T5E3		0	0A	0/0A
1T5E4		0	0A	0/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

1T5E5		0	0A	0/0A
1T5E6		0	0A	0/0A
1T5E7		0	0A	0/0A
1T5E8		0	0G	0/0G
1T5E9		1	0A	1/0A
1T5E10		2	0G	2/0G

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T6E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
1T6E1		5	0A	5/0A
1T6E2		5	1A	5/1A
1T6E3		7	2A	7/2A
1T6E4		5	1A	5/1A
1T6E5		7	2B	7/2B
1T6E6		5	1A	5/1A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

1T6E7		5	2A	5/2A
1T6E8		6	2A	6/2A
1T6E9		4	2A	4/2A
1T6E10		3	1A	3/1A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T7E	Periodo de tiempo:	12 HORAS








NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
1T7E1		9	2B	9/2B
1T7E2		8	1B	8/1B

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



1T7E3		9	4B	9/4B
1T7E4		6	1B	6/1B
1T7E5		9	3B	9/3B
1T7E6		8	6B	8/6B
1T7E7		8	4B	8/4B
1T7E8		7	2B	7/2/B
1T7E9		6	2B	6/2B

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA








Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



1T7E10		9	5B	9/5B
--------	---	---	----	------

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	1T8E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
1T8E1		1	0B	1/0B
1T8E2		5	0A	5/0A
1T8E3		4	0A	4/0A
1T8E4		4	1A	4/1A
1T8E5		6	0A	6/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA




Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



1T8E6		6	0A	6/0A
1T8E7		5	0A	5/0A
1T8E8		5	0A	5/0A
1T8E9		6	0A	6/0A
1T8E10		5	0B	5/0B

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T1E	Período de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección <i>R_P</i>	Apariencia <i>R_A</i>	
2T1E1		1	0A	1/0A








ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



**Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua**



2T1E2		1	0A	1/0A
2T1E3		3	0G	3/0G
2T1E4		3	0G	3/0G
2T1E5		3	0A	3/0A
2T1E6		4	0G	4/0G
2T1E7		3	1A	3/1A
2T1E8		3	0A	3/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA







Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



2T1E9		4	0A	4/0A
2T1E10		3	0G	3/0G

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T2E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
2T2E1		2	1G	2/1G
2T2E2		2	1G	2/1G
2T2E3		1	0G	1/0G
2T2E4		2	0A	2/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



2T2E5		3	0A	3/0A
2T2E6		3	0G	3/0G
2T2E7		4	0G	4/0G
2T2E8		5	0G	5/0G
2T2E9		3	0A	3/0A
2T2E10		3	0A	3/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T3E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
2T3E1		2	0G	2/0G
2T3E2		3	0G	3/0G
2T3E3		2	0G	2/0G
2T3E4		2	0A	2/0A
2T3E5		4	0G	4/0G
2T3E6		2	0A	2/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

2T3E7		2	0A	2/0A
2T3E8		4	0G	4/0G
2T3E9		2	0A	2/0A
2T3E10		3	1A	3/1A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T4E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
2T4E1		8	1B	8/1B
2T4E2		7	1B	7/1B

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



2T4E3		8	2B	8/2B
2T4E4		8	0B	8/0B
2T4E5		8	0B	8/0B
2T4E6		7	0B	7/0B
2T4E7		8	1B	8/1B
2T4E8		7	1B	7/1B
2T4E9		8	5B	8/5B


ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA







Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

2T4E10		8	0B	8/0B
--------	---	---	----	------

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T5E	Periodo de tiempo:	12 HORAS






NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
2T5E1		5	1A	5/1A
2T5E2		5	0A	5/0A
2T5E3		5	0A	5/0A
2T5E4		3	0A	3/0A
2T5E5		5	0A	5/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA




Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



2T5E6		5	0A	5/0A
2T5E7		3	0A	3/0A
2T5E8		5	0A	5/0A
2T5E9		6	0A	6/0A
2T5E10		5	0A	5/0A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T6E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
2T6E1		1	1E	1/1E

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



2T6E2		1	0E	1/0E
2T6E3		2	0G	2/0G
2T6E4		3	0G	3/0G
2T6E5		4	1A	4/1A
2T6E6		1	0A	1/0A
2T6E7		1	0A	1/0A
2T6E8		2	0A	2/0A



ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA







Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

2T6E9		2	0A	2/0A
2T6E10		2	0A	2/0A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T7E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
2T7E1		5	0B	5/0B
2T7E2		5	1B	5/1B
2T7E3		6	0A	6/0A
2T7E4		5	0B	5/0B

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



2T7E5		5	0B	5/0B
2T7E6		5	1B	5/1B
2T7E7		4	0A	4/0A
2T7E8		3	0B	3/0B
2T7E9		3	1A	3/1A
2T7E10		2	2A	2/2A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	2T8E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
2T8E1		5	1A	5/1A
2T8E2		4	0A	4/0A
2T8E3		3	0A	3/0A
2T8E4		0	0B	0/0B
2T8E5		6	1A	6/1A
2T8E6		2	0A	2/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA





Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



2T8E7		1	7A	1/7A
2T8E8		2	1A	2/1A
2T8E9		3	0A	3/0A
2T8E10		0	0B	0/0B

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T1E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección <i>R_P</i>	Apariencia <i>R_A</i>	
3T1E1		0	1A	0/1A
3T1E2		2	1A	2/1A

Código: RG-TT-004
 Fecha de Elaboración: 11-05-2018
 Fecha de última aprobación: 22-12-2018
 Revisión: 1

ENSAYO DE NIEBLA SALINA NEUTRA








Página 29 de 47

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero




3T1E3		0	0A	0/0A
3T1E4		0	0A	0/0A
3T1E5		2	1A	2/1A
3T1E6		1	3A	1/3A
3T1E7		3	0A	3/0A
3T1E8		3	0A	3/0A
3T1E9		1	0A	1/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA








Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



3T1E10		0	0A	0/0A
--------	---	---	----	------

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T2E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
3T2E1		0	0A	0/0A
3T2E2		0	0A	0/0A
3T2E3		0	0A	0/0A
3T2E4		0	0A	0/0A
3T2E5		0	0A	0/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

3T2E6		0	0A	0/0A
3T2E7		0	0A	0/0A
3T2E8		0	0A	0/0A
3T2E9		0	0A	0/0A
3T2E10		0	0A	0/0A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T3E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
3T3E1		3	1A	3/1A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



**Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua**

3T3E2		4	1A	4/1A
3T3E3		5	1A	5/1A
3T3E4		4	2B	4/2B
3T3E5		10	9B	10/9B
3T3E6		2	1B	2/1B
3T3E7		1	0B	1/0B
3T3E8		4	1A	4/1A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

3T3E9		4	1A	4/1A
3T3E10		3	0A	3/0A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T4E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
3T4E1		1	0A	1/0A
3T4E2		0	0B	0/0B
3T4E3		3	0A	3/0A
3T4E4		3	4A	3/4A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



3T4E5		3	1A	3/1A
3T4E6		0	0B	0/0B
3T4E7		2	0A	2/0A
3T4E8		2	1A	2/1A
3T4E9		1	1A	1/1A
3T4E10		4	0A	4/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T5E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
3T5E1		4	1A	4/1A
3T5E2		0	0A	0/0A
3T5E3		1	1A	1/1A
3T5E4		5	1A	5/1A
3T5E5		0	0B	0/0B
3T5E6		1	1A	1/1A





ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA





Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

3T5E7		4	0A	4/0A
3T5E8		1	0A	1/0A
3T5E9		0	2B	0/2B
3T5E10		0	4B	0/4B

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T6E	Periodo de tiempo:	12 HORAS



NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
3T6E1		0	0A	0/0A
3T6E2		0	0A	0/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



3T6E3		0	0A	0/0A
3T6E4		1	1A	1/1A
3T6E5		1	1A	1/1A
3T6E6		0	0A	0/0A
3T6E7		0	0A	0/0A
3T6E8		0	0A	0/0A
3T6E9		0	0A	0/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA








Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



3T6E10		0	0A	0/0A
--------	---	---	----	------

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T7E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección <i>R_P</i>	Apariencia <i>R_A</i>	
3T7E1		0	0A	0/0A
3T7E2		0	0A	0/0A
3T7E3		1	1A	1/1A
3T7E4		0	0A	0/0A
3T7E5		0	0A	0/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA




Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

3T7E6		0	0A	0/0A
3T7E7		0	0A	0/0A
3T7E8		0	0A	0/0A
3T7E9		0	0A	0/0A
3T7E10		0	0A	0/0A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	3T8E	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
3T8E1		5	1A	5/1A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



3T8E2		5	1A	5/1A
3T8E3		1	2B	1/2B
3T8E4		4	1A	4/1A
3T8E5		3	1A	3/1A
3T8E6		1	1B	1/1B
3T8E7		5	2A	5/2A
3T8E8		4	1A	4/1A



ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA







Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



**Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua**

3T8E9		3	2A	3/2A
3T8E10		4	1A	4/1A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	Control-E25	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
E25-1		0	0A	0/0A
E25-2		0	0A	0/0A
E25-3		0	1A	0/1A
E25-4		1	2A	1/2A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



E25-5		1	0A	1/0A
E25-6		1	1A	1/1A
E25-7		1	1A	1/1A
E25-8		0	1A	0/1A
E25-9		1	1A	1/1A
E25-10		1	1A	1/1A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	Optimo Rack-E26	Periodo de tiempo:	12 HORAS





NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_P	Apariencia R_A	
E26-1		0	0B	0/0B
E26-2		0	0B	0/0B
E26-3		4	1A	4/1 ^a
E26-4		5	1A	5/1A
E26-5		5	1A	5/1A
E26-6		2	1B	2/1B

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



E26-7		1	1B	1/1B
E26-8		0	0B	0/0B
E26-9		0	0B	0/0B
E26-10		4	3A	4/3A

Método:	NTE INEN 1176	Tipo de ensayo:	Cualitativo
Codificación:	Optimo Tambor-E27	Periodo de tiempo:	12 HORAS

NUM. PROBETA	IMAGEN DE PROBETA REPRESENTATIVA	ESCALA Y DESCRIPCIÓN		NTE INEN 1176 Comportamiento
		Protección R_p	Apariencia R_A	
E27-1		2	0A	2/0A
E27-2		1	0A	1/0A








ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua


E27-3		1	0A	1/0A
E27-4		0	0A	0/0A
E27-5		0	0A	0/0A
E27-6		0	0A	0/0A
E27-7		0	0A	0/0A
E27-8		1	0A	1/0A
E27-9		0	0A	0/0A

ANEXO 3: INFORME CORROSIÓN CÁMARA SALINA



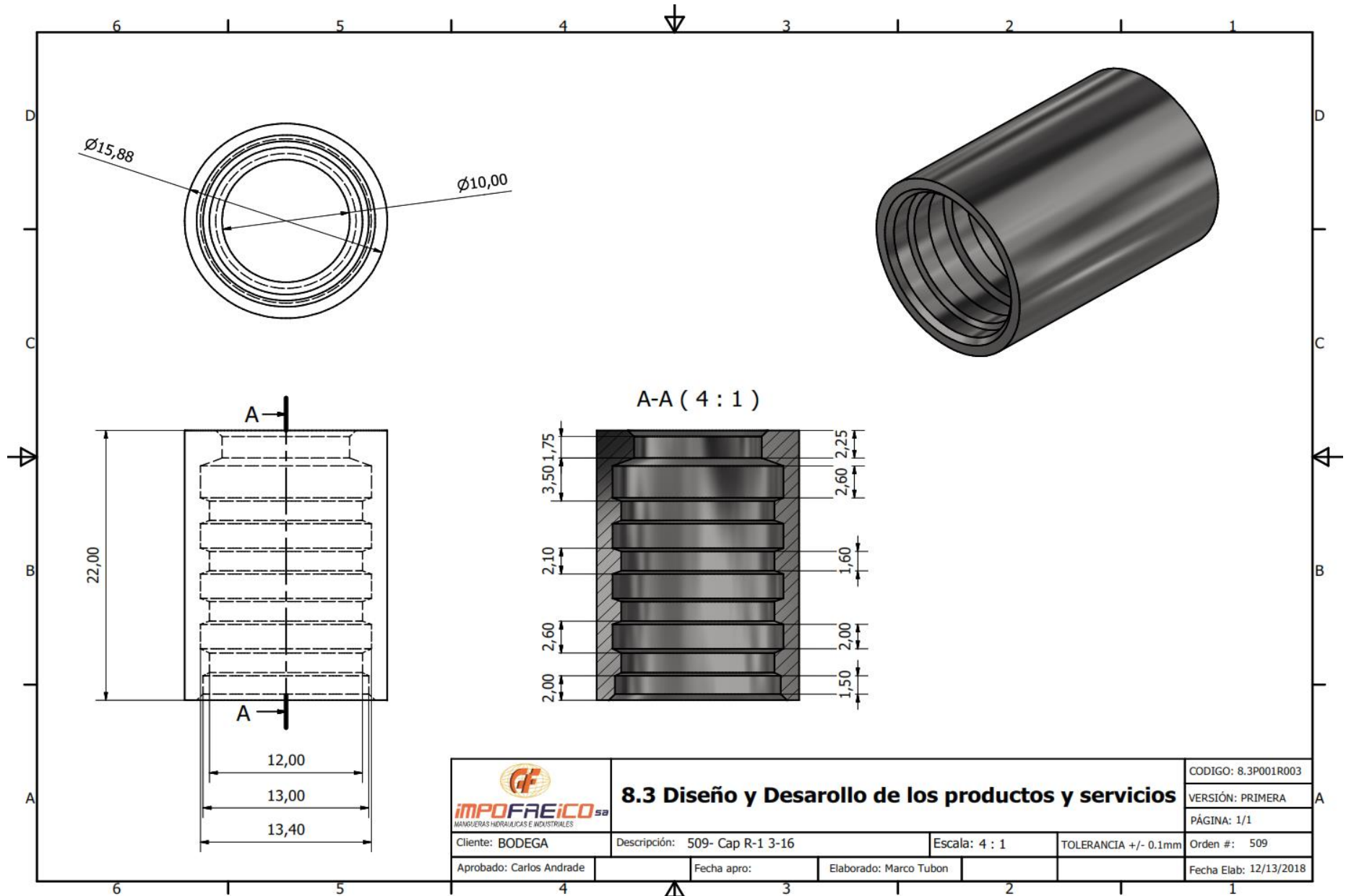
Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero




E27-10		0	0A	0/0A
--------	---	---	----	------

-----**FIN DE INFORME**-----

ANEXO 4: PLANO CAPSULA R-1 3/16



	8.3 Diseño y Desarrollo de los productos y servicios			CODIGO: 8.3P001R003
				VERSIÓN: PRIMERA
				PÁGINA: 1/1
Cliente: BODEGA	Descripción: 509- Cap R-1 3-16	Escala: 4 : 1	TOLERANCIA +/- 0.1mm	Orden #: 509
Aprobado: Carlos Andrade	Fecha apro:	Elaborado: Marco Tubon		Fecha Elab: 12/13/2018