



UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL, MENCIÓN MANTENIMIENTO**

TÍTULO DEL PROYECTO:

**PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE CON
RECUBRIMIENTO DE ZINC PARA PIEZAS METÁLICAS**

AUTORES:

FONSECA VEGA JOSÉ ADEMIR

GUAMÁN CAMPOVERDE ÁNGEL HOMERO

TUTOR:

ING. BRITO ESPINOZA EDMUNDO

MILAGRO, ENERO DEL 2011

ECUADOR



ACEPTACIÓN DEL TUTOR.

En calidad de TUTOR de proyecto de investigación, nombrado por el consejo Directivo de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro.

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de grado presentado por los señores **Fonseca Vega José Ademir** y **Guamán Campoverde Ángel Homero**, para optar al título de Ingenieros Industriales con mención en Mantenimiento y que acepto tutorar a los estudiantes, durante la etapa del desarrollo del trabajo **Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de Zinc para Piezas Metálicas**. Hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Este trabajo está dirigido al diseño, construcción y utilización de un proceso de galvanizado en caliente con fines académicos, que será utilizado en la facultad Ciencias de la Ingeniería para las prácticas de la materia de Corrosión, consideramos de suma importancia la aceptación del mismo; por cumplir con los requisitos legales y por la importancia del tema en la enseñanza, aprendizaje de la protección de los metales contra la corrosión.

Milagro, a los 17 días del mes de Enero del 2011.

TUTOR:



Ing. Brito Espinoza Edmundo
C.I. 0601602535



DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Por la presente declaramos ante el Consejo Directivo de la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de nuestra propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título o Grado de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 17 días del mes de Enero del 2011.

AUTORES:

José Ademir Fonseca Vega

Fonseca Vega José Ademir

C.I.: 0919067009

Ángel Guaman Campoverde

Guamán Campoverde Ángel Homero

C.I.: 0925006892





UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

EL TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de: INGENIERO INDUSTRIAL, MENCIÓN MANTENIMIENTO otorga al presente proyecto de investigación las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO.....	[90]
EXPOSICIÓN ORAL.....	[90]
TOTAL.....	[90]
EQUIVALENTE.....	[Sb]


PRESIDENTE DEL TRIBUNAL


PROFESOR DELEGADO


PROFESOR DELEGADO



DEDICATORIA.

Dedicamos este trabajo a la Universidad Estatal de Milagro, su Rector, Autoridades, Maestros, y en especial a las futuras generaciones de estudiantes de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, especialización Ingeniería Industrial.

Estamos seguros que el aporte didáctico que genere esta investigación, servirá para el buen entendimiento de la materia de corrosión. Por esa razón enfatizamos la elaboración de esta tesis a los estudiantes de Ingeniería Industrial.



AGRADECIMIENTO 1.

Agradezco al creador de todo lo existente Dios, por la sabiduría que me dio durante la elaboración de esta tesis.

A mis amados padres, José Fonseca López y Sila Vega Contreras por su respaldo incondicional y sabia confianza durante el desarrollo de mis estudios universitarios; a mi asesor y guía el Ing. Edmundo Brito Espinoza, quien supo orientarme en el desarrollo e investigación de esta tesis.

A todas y cada una de las personas que hicieron posible el presente trabajo, en bien a mi crecimiento profesional.

Atento,

Fonseca Vega José Ademir

AGRADECIMIENTO 2.

Primero agradezco a Dios por darme fuerza para alcanzar uno más de mis objetivos.

Agradezco el esfuerzo que han hecho mis padres, por brindarme su apoyo en el transcurso de mi superación profesional, y a la sabia orientación de mi tutor Ing. Edmundo Brito.

Además a todos quienes de una u otra manera contribuyeron para la elaboración de este proyecto.

Atte.

Guamán Campoverde Ángel

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES

Doctor

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedemos a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor del trabajo realizado, como requisito previo para la obtención de nuestro Título de Tercer Nivel, cuyo tema es Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de Zinc para piezas Metálicas y que corresponde a la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería.

Milagro, 17 de Enero del 2011.

José Ademir Fonseca V.

Fonseca Vega José Ademir

C.I.: 0919067009

Ángel Guzmán C.

Guzmán Campoverde Ángel Guzmán

C.I.: 0925006892



INDICE GENERAL

INTRODUCCIÒN	1
CAPÍTULO I	
EL PROBLEMA	
1. 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1.1 Problematización	3
1.1.2 Delimitación del problema	6
1.1.3 Formulación del problema	7
1.1.4 Sistematización del Problema de Investigaciòn	8
1.1.5 Determinación del tema	9
1. 2 OBJETIVOS	10
1.2.1 Objetivos Generales	10
1.2.2 Objetivos Específicos	10
1. 3 JUSTIFICACIÓN	11
CAPÍTULO II	
MARCO REFERENCIAL	
2. 1 MARCO TEÓRICO	13
2.1.1 Antecedentes históricos	13
2.1.1.1 Desengrase	14
2.1.1.2 Desengrase Alcalino	15
2.1.1.3 Condiciones del proceso del baño alcalino	16
2.1.1.4 Ventajas del Desengrase Alcalino	16
2.1.1.5 Desventajas del Desengrase Alcalino	16



2.1.1.6	Desengrase Ácido	17
2.1.1.7	Control del Baño Desengrase Ácido	17
2.1.1.8	Ventajas del Desengrase Ácido	17
2.1.1.9	Desventajas del Desengrase Ácido	18
2.1.1.10	El Lavado	18
2.1.1.11	Decapado Ácido	19
2.1.1.12	Propósito del Decapado	19
2.1.1.13	Aditivos para los Ácidos en el baño Decapado	19
2.1.1.14	Características de los Óxidos presentes en los Aceros	19
2.1.1.15	Lavado	20
2.1.1.16	Fluxado	21
2.1.1.17	Secado	21
2.1.1.18	Galvanizado	22
2.1.1.19	Gasto de Zinc en el Galvanizado	22
2.1.1.20	Química del Zinc	23
2.1.1.21	Problemas más Comunes en el Galvanizado	27
2.1.2	Antecedentes referenciales	28
2.1.2.1	Protección Catódica	28
2.1.2.2	Revestimiento	28
2.1.2.3	Proceso Referencial de Galvanización por inmersión en Caliente	29
2.1.2.4	Galvanización Continua por Inmersión en Caliente de artículos después de terminada en fabricación	36



2.1.2.5 Galvanización por Inmersión en Caliente en líneas continuas de productos destinadas a la fabricación de otros productos	36
2.1.2.6 Depósito Electrolítico de Zinc o Zincado Electrolítico	37
2.1.2.7 Depósitos Metálicos a partir del polvo de Zinc	38
2.1.2.8 Pinturas de Polvo de Zinc	39
2.1.2.9 Metalización con Zinc o Zincado por proyección	39
2.1.2.10 Galvanostegia	42
2.1.2.11 Clasificación de los Servicios Galvanotécnicos	42
2.1.2.12 Descripción de los Procesos de Pulido y Brillo	43
2.1.2.13 Descripción del Proceso de Acabado	44
2.1.2.14 Remoción de Pinturas y Productos de Corrosión	47
2.2 MARCO CONCEPTUAL	47
2.2.1 Poder Anticorrosivo del Zinc	47
2.2.2 Proceso Metalúrgico durante el Galvanizado por Inmersión	49
2.2.3 Técnicas de Galvanizado por Inmersión	52
2.2.4 Técnicas Discontinuas	52
2.2.5 Galvanizado de Tubos	53
2.2.6 Técnicas Continuas	53
2.2.7 Descripción del Proceso de Galvanizado en Caliente	54
2.2.8 Preparación de la Superficie	54
2.2.9 Desengrase Alcalino	54
2.2.10 Bañado (Agua Caliente)	55
2.2.11 Decapado	55

2.2.12 Bañado (Agua fría)	56
2.2.13 Fluxado o baño de Fundente	56
2.2.14 Fundentes Líquidos	57
2.2.15 Secado	58
2.2.16 Baño de Zinc Fundido	59
2.2.17 Enfriamiento	60
2.2.18 Resumen de Secuencia de Operación Óptima	60
2.2.18.1 Piezas a Galvanizar	62
2.2.18.2 Piezas pequeñas	63
2.2.19 Glosario de Términos	64
2.3 HIPÓTESIS Y VARIABLES	68
2.3.1 Hipótesis General	68
2.3.2 Hipótesis Particulares	69
2.3.3 Declaración de Variables	69
2.3.4 Operacionalización de las Variables	71

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Y PERSPECTIVA GENERAL	73
3.1.1 El Propósito	73
3.2. TOMA DE MUESTRA	74
3.2.1 Características de la muestra	74
3.2.2 Delimitación y Tamaño de muestra	74



3.3 LOS MÉTODOS Y LAS TÉCNICAS	75
3.3.1 Propiedades del recubrimiento	75
3.3.2 Método de ensayo	76

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de la situación actual	80
4.2 Definición del proceso de galvanizado	82
4.2.1 Equipos de protección personal y herramientas de trabajo utilizados en el proceso de galvanizado en caliente	82
4.2.2 Limpieza de desengrase a inmersión	83
4.2.3 Lavado	84
4.2.4 Decapado ácido	85
4.2.5 Lavado o enjuague	86
4.2.6 Fluxado	86
4.2.7 Secado	87
4.2.8 Galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc	88
4.2.9 Enfriamiento de las piezas galvanizadas	94
4.2.10 Verificación y control de calidad del baño de galvanización	95
4.3 Resultados y estadísticas de cada proceso	96
4.4 Resultados	99
4.5 Verificación de hipótesis	99



CAPITULO V

PROPUESTA

5.1 TEMA	100
5.2 JUSTIFICACIÓN	100
5.3 FUNDAMENTACIÓN	101
5.4 OBJETIVOS	101
5.4.1 Objetivos Generales	101
5.4.2 Objetivos Específicos	101
5.5 UBICACIÓN	102
5.6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	102
5.7 PLANIFICACIÓN	103
5.7.1 Filosofía del Proyecto	104
5.7.2 Planificación de la Galvanización	104
5.7.3 Dimensiones y peso	105
5.7.4 Aceros especiales	106
5.7.5 Exigencias particulares	106
5.7.6 Costo inicial	106
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	110 - 150
HOJA DE PROCESOS DE RECUBRIMIENTO DE ZINC	151



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Promedio de vida útil de un acero bien galvanizado.	23
Cuadro 2. Encuesta ceniza y dross.	25
Cuadro 3. Análisis de problemas, causas y recomendaciones después del galvanizado.	27
Cuadro 4. La Galvanización por Inmersión en Caliente (Hot Dip) como método de protección del Acero contra la Corrosión.	29
Cuadro 5. Solventes empleados en tratamiento de plásticos.	40
Cuadro 6. Soluciones empleadas en pre metalizado.	41
Cuadro 7. Espesores de recubrimiento sugeridos por ASTM.	42
Cuadro 8. Etapas de Pulido y brillo.	43
Cuadro 9. Soluciones desengrasantes electrolíticas.	45
Cuadro 10. Composición de baños electrolíticos.	46
Cuadro 11. Especificaciones de productos galvanizados por inmersión en caliente.	48
Cuadro 12. Perdida media de zinc anual por corrosión y vida útil anual en años de capa de zinc. ¹	49
Cuadro 13. ¹ Microdureza, dureza Vickers con pequeñas cargas para capas delgadas.	50
Cuadro 14. Muestra la composición típica de un baño de zinc fundido en % y en peso	52
Cuadro 15. Etapas del proceso de galvanizado en caliente.	62
Cuadro 16. Variables Dependientes.	70
Cuadro 17. Variables independientes.	71
Cuadro 18. Ejemplos referenciales del tamaño de la muestra del control en relación con el tamaño del lote realizado por Galvano.	74
Cuadro 19. Evaluación referencial de la cuba de Galvanizado referente a varios procesos según la capacidad.	75
Cuadro 20. Espesores referenciales mínimos del recubrimiento sobre muestras sin centrifugar.	77
Cuadro 21. Planes de muestreo para piezas de pequeño tamaño.	99
Cuadro 22. Lista de Químicos para la elaboración del Proceso de Galvanizado en Caliente.	102
Cuadro 23. Lista de materiales a utilizar para la construcción del proceso de galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Barreras camineras corroídas en camino costero.	4
Figura 2. Estructura de hormigón armado cuyas barras de acero se han oxidado.	5
Figura 3. Desengrase Alcalino.	16
Figura 4. Desengrase Ácido.	18
Figura 5. Consumo promedio de zinc en aceros.	22
Figura 6. Curvas de reacción del galvanizado.	26
Figura 7. Proceso referencial conocido como galvanización general de todo tipo de productos.	29
Figura 8. Calidad y tipo del acero.	31
Figura 9. Tubo destruido por falta de ventilación.	32
Figura 10. Acumulaciones de zinc por falta de drenaje.	34
Figura 11. Procedimiento de soldadura para una buena adherencia de zinc	34
Figura 12. Bordes vivos y virutas.	35
Figura 13. Piezas móviles a galvanizar.	35
Figura 14. Galvanización referencial continua por inmersión en caliente de artículos después de fabricados.	36
Figura 15. Desengrase referencial en horno.	37
Figura 16. Depósito electrolítico de zinc o zincado.	38
Figura 17. Depósitos metálicos a partir de polvo de zinc.	38
Figura 18. Pinturas de polvo de zinc.	39
Figura 19. Metalización con zinc o zincado por proyección.	39
Figura 20. Micrografía de un recubrimiento de acero galvanizado en caliente.	49
Figura 21. Secuencia de operación óptima referencial para procesos de galvanizado en caliente.	61
Figura 22. Normas de las tuercas y orificios roscados.	63

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Equipos y herramientas de seguridad personal.	83
Foto 2. Preparación de la cuba para el desengrase alcalino.	84
Foto 3. Cuba de enjuague o lavado.	85
Foto 4. Decapado realizado con Desoxidante.	85
Foto 5. Cuba de fluxado.	87
Foto 6. Cuba de secado.	87
Foto 7. Cuba para galvanizado - Baño de zinc fundente.	88
Foto 8. Preparación de la cuba con zinc previo al proceso de galvanizado.	89
Foto 9. Multímetro digital DT-5808 para medición de temperatura.	90
Foto 10. Multímetro digital DT-5808 – indicador de temperatura y adaptador de medición.	90
Foto 11. Adaptador del multímetro digital para medición de temperatura con termocupla.	91
Foto 12. Medición de la temperatura previa al proceso de galvanizado.	91
Foto 13. Transportación de la varilla corrugada de 1/8" en el baño de zinc.	92
Foto 14. Inmersión de la varilla corrugada de 1/8" en el baño de zinc.	92
Foto 15. Inmersión del tubo cuadrado de 1" en el baño de zinc fundido.	93
Foto 16. Retiro de las piezas expuestas al baño de zinc.	93
Foto 17. Enfriamiento en agua a temperatura ambiente de las piezas galvanizadas.	94
Foto 18. Micrómetro de 25-50mm 0.01mm para medición de las piezas a galvanizar.	95
Foto 19. Medición de la pieza antes de galvanizar (25 milésimas con 29 centésimas).	95
Foto 20. Textura de las piezas galvanizadas.	97
Foto 21. Fallas de recubrimiento en el tubo cuadrado de 1".	98
Foto 22. Buena adherencia de zinc durante el proceso de inmersión en caliente.	98

RESUMEN.

El galvanizado en caliente por inmersión consiste en un proceso de recubrimiento que se utiliza para proteger las superficies metálicas de la corrosión. Este tratamiento específico para la inmersión de piezas de acero o fundición en un baño de zinc fundido.

Dentro del galvanizado en caliente (hot-dipping) se puede distinguir entre galvanizado de piezas, de laminados, tornillería, tubos y alambre. En este estudio siempre se hará referencia al galvanizado de piezas, que se engloba actualmente dentro de la comunidad autónoma a la mayoría de las empresas con este proceso productivo.

Por lo general, durante el galvanizado por inmersión el zinc fundido produce mediante un ataque químico una serie de capas de aleaciones de zinc-hierro (Zn-Fe) de gran adherencia con la superficie. La capa de Zn-Fe, dura y relativamente quebradiza, sirve de protección galvánica frente a la corrosión del metal base. Sin embargo, aún y cuando la superficie zincada sea pasiva rápidamente, el espesor de la capa de zinc va reduciéndose progresivamente en función de las condiciones externas.

Para que las piezas puedan ser galvanizadas, es necesario que éstas tengan una superficie brillante además de unas propiedades específicas antes de su inmersión en el baño de zinc fundido. Sin embargo, generalmente las superficies presentan óxidos, cascarilla, aceites y grasas procedentes de fases de tratamiento anteriores. Es así que para conseguir dicha superficie son necesarios una serie de tratamientos previos al galvanizado.

Primero, las piezas se sumergen en un baño de desengrase caliente en medio ácido o alcalino, para eliminar y limpiar las piezas de aceites y grasas. Aunque no en todos los casos, si el desengrase es alcalino, suele existir un lavado intermedio previo a la siguiente etapa. Seguido, se procede a la eliminación del óxido y la cascarilla que pudieran estar adheridos a las piezas mediante baños de decapado. Por lo general se trata de baños de ácido clorhídrico.



En caso de que las piezas a galvanizar sean piezas defectuosamente galvanizadas o piezas cuyo recubrimiento de zinc deba ser renovado, se introducen también en esta etapa del proceso. Después del decapado suele existir una etapa de lavado.

La siguiente fase del proceso consiste en el tratamiento de las piezas con mordientes cuya composición fundamental son sales de cloruro de zinc y de amonio. El objetivo de esta etapa es el conseguir una mejor adherencia del recubrimiento de zinc.

Es recomendable secar las piezas antes de ser galvanizadas. Posteriormente al sumergir las piezas en el baño de zinc fundido ($T^{\circ} \approx 450^{\circ}\text{C}$), se produce la evaporación del mordiente que arrastran las piezas, formándose nubes de polvo que deben eliminarse mediante un sistema adecuado de captación de humos. Por último, tiene lugar el enfriamiento de las piezas, el cual puede ser al aire o sumergiéndolas en un baño estanco de agua.

Es así que concluyo enfatizando que el acero es hasta el momento el metal más comúnmente empleado hoy en día en el mundo, satisface la mayor parte de las demandas provenientes de las principales industrias en términos de calidades técnicas.



SUMMARY.

The one galvanized in hot by immersion consists on a recubrimiento process that is used to protect the metallic surfaces of the corrosion. This specific treatment for the immersion of steel pieces or foundry in a bathroom of fused zinc.

Inside the one galvanized in hot (hot-dipping) it can be distinguished among galvanized of pieces, of laminate, tornillería, tubes and wire. In this study reference will always be made to the you galvanize of pieces that it is included at the moment inside the autonomous community to most of the companies with this productive process.

In general, during the one galvanized by immersion the fused zinc she/he takes place by means of a chemical attack a series of layers of zinc-iron alloys (Zn-faith) of great adherence with the surface. The layer of Zn-faith, hard and relatively brittle, it serves as galvanic protection in front of the corrosion of the metal it bases. However, still and when the surface zincada you pasive quickly, the thickness of the layer of zinc goes decreasing progressively in function of the external conditions.

So that the pieces can be galvanized, it is necessary that these have a brilliant surface besides some specific properties before their immersion in the bathroom of fused zinc. However, the surfaces generally present oxides, husk, oils and fatty coming from phases of previous treatment. It is so to get this surface they are necessary a series of previous treatments to the one galvanized.

First, the pieces dive in a bathroom of it degreases hot between acid or alkaline, to eliminate and to clean the pieces of oils and fatty. Although not in all the cases, if the one degreases it is alkaline, a previous intermediate laundry usually exists to the following stage. Followed, you proceeds to the elimination of the oxide and the husk that could be stuck to the pieces by means of bathrooms of having stripped. In general it is bathrooms of hydrochloric acid.

In case the pieces to galvanize are defectively pieces galvanized or pieces whose recubrimiento of zinc should be renovated, are also introduced in this stage of the process. After the one stripped a laundry stage it usually exists.



The following phase of the process consists on the treatment of the pieces with mordant whose fundamental composition is salts of chloride of zinc and of ammonium. The objective of this stage is getting a better adherence of the recubrimiento of zinc.

It is advisable to dry the pieces before being galvanized. Later on when submerging the pieces in the bathroom of fused zinc ($T^{\circ} 450^{\circ}\text{C}$), she/he takes place the evaporation of the mordant one that you/they drag the pieces, being formed powder clouds that should be eliminated by means of an appropriate system of reception of smoke. Lastly, she/he takes place the cooling of the pieces, which can be to the air or submerging them in a tight bathroom of water.

It is so I conclude emphasizing that the steel is until the moment the metal more commonly used today in day in the world, it satisfies most of the demands coming from the main industries in terms of technical qualities.



INTRODUCCIÓN.

La galvanización en caliente es el proceso mediante el cual se obtiene recubrimientos de zinc en productos de acero u otros materiales féreos mediante la inmersión de los mismos en un baño de zinc fundido, generado por un proceso de saturación por difusión de la superficie del acero con zinc, como regla, a 300-550 °C en un medio adecuado. Generalmente, el cincado se realiza en zinc fundido de 450 a 470 °C desde 1 hasta 10 min.

El destino principal del cincado es el aumento de la resistencia a la corrosión en la atmósfera, en agua dulce, mineral y de mar, en bencina y gases calientes (300-500 °C) que contienen sulfuro de hidrógeno. Al cincado se somete chapas, cintas, bandas, tubos, alambres, redes, accesorios de sujeción, torres de las líneas de transporte de energía, recipientes, tornillos, tuercas, diferentes piezas para la construcción naval, la industria química, la industria de extracción de petróleo, la industria minera, etcétera.

La electrólisis, un tratamiento también de recubrimiento superficial de estructuras metálicas, en las empresas de fabricación de estructuras y elementos metálicos, no es una opción económica por el limitado tamaño de las cubas para un uso racional de la energía eléctrica necesaria para este proceso, siendo preferida para los procesos de estañado y baños de cadmio; por lo cual, para este tipo de producciones la inmersión en caliente es el recomendable.

En el caso del galvanizado si su capa se daña, raya o presenta discontinuidades, el zinc adyacente al acero formará una sal insoluble de zinc sobre el acero expuesto. Esto resana la ruptura y continúa protegiendo la superficie contra cualquier corrosión.

Los procesos requieren ser estudiados para su optimización, debido al alto consumo de combustible (fuel-oil y gas-oil) dada la obligatoriedad de mantener encendida la cuba de galvanización las 24 h del día, además del componente importado que representan las materias primas utilizadas.

La demanda identificada y las oportunidades comerciales que brinda la galvanización por inmersión en caliente y el valor agregado que aporta a la cadena de valor de la producción, obliga a realizar una correcta valoración entre el óptimo técnico y el óptimo económico de este proceso.



Entendido el óptimo técnico como aquel volumen de producción que se obtiene con un mínimo de costos medios y el óptimo económico como el volumen de producción que logra obtener los máximos beneficios. El óptimo técnico contempla el aspecto tecnológico de los costos de producción, el óptimo económico contempla los ingresos obtenidos en la comercialización. Mucho más de lo necesario, se produce distorsiones entre ambos óptimos, dadas por factores técnico organizativos y económico-financieros, en un régimen de explotación determinado.

Con el objetivo de determinar la relación entre los mismos, así como la viabilidad financiera del proyecto sobre estas bases en la Universidad, realizando este trabajo.



CAPÍTULO I.

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1.1 Problematicación.

Se llama corrosión a la destrucción de un material por acción química o electroquímica o una combinación de éstas; la corrosión del acero constituye un problema de interacción de los metales con el medio ambiente que lo rodea. Este proceso puede ser potenciado por otras acciones secundarias como efectos mecánicos o físicos, lo que produce pérdidas en sus propiedades mecánicas de resistencia que da lugar a cambios en la geometría de las estructuras y componentes que les hacen perder la función para la cual estaban determinadas. Además se puede decir que la corrosión es un proceso natural al que inevitablemente están expuestos en mayor o menor medida todos los elementos de la naturaleza.

En el caso del acero, la corrosión es un fenómeno especialmente alarmante dado que dicho material es ampliamente utilizado en múltiples aplicaciones.

La mayoría de los aceros, cuando no están adecuadamente protegidos contra la corrosión sufren deterioros que generan:

- a. Pérdida de funcionalidad para estructuras, equipos y materiales corroídos.
- b. Peligros y riesgos evidentes o latentes de imprevisibles consecuencias.
- c. Costos por reposición, reparación o daños emergentes.



- d. Pérdidas indirectas, como la pérdida de producción por suspensión temporal de los sistemas productivos y las instalaciones, y la contaminación de los bienes creados.
- e. Pérdidas de bienestar y vidas humanas.
- f. Pérdidas de la eficiencia.
- g. Sobredimensionamiento.
- h. Aumento de los costos de explotación.

La corrosión afecta a todos los materiales cualquiera que sea el tipo de actividad o sector que se considere, por lo que se ha vuelto un proceso espontáneo de destrucción que experimentan los metales, convirtiéndose en óxidos y esto produce un gradual deterioro de ellos.



Figura 1. Barreras camineras corroídas en camino costero.

La galvanización es un procedimiento para recubrir el hierro y el acero mediante su inmersión en un baño de zinc fundido a una temperatura de 450°C , temperatura que es medida con un pirómetro o en muchos casos también es imprescindible la utilización de una termocupla o un multímetro digital moderno para esta aplicación. La galvanización tiene como principal objetivo evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental puede ocasionar sobre este hierro.



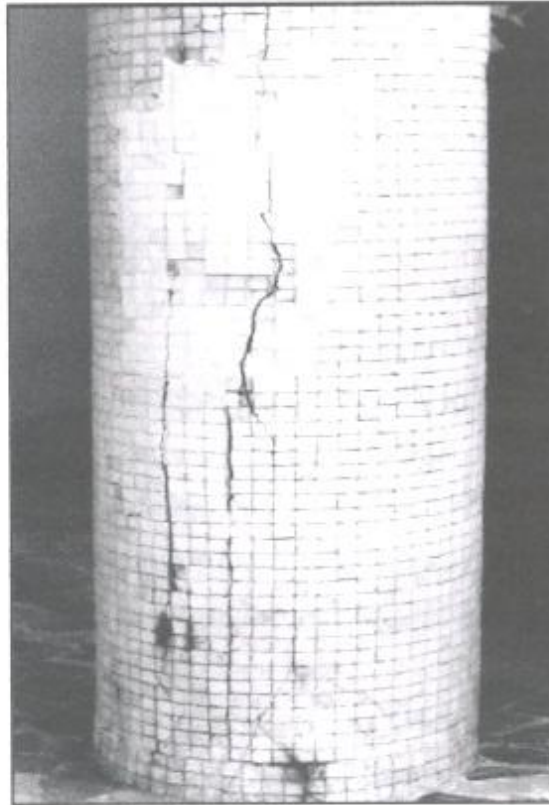


Figura 2. Estructura de hormigón armado cuyas barras de acero se han oxidado.

El proceso de galvanizado por inmersión en caliente con recubrimiento de zinc se puede adaptar a varias aplicaciones dentro de los niveles académicos, por lo que de allí parte nuestro interés y esfuerzo en la elaboración de este proceso, considerando que la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro no cuenta con un banco de prueba o micro-laboratorio con un proceso de galvanizado por inmersión en caliente con recubrimiento de zinc, necesario para el aprendizaje instructivo de la materia de "Corrosión", enfocándonos con fines a investigaciones científicas por parte de los estudiantes, teniendo en cuenta además que nuestro proyecto será de gran utilidad y aporte también para catedráticos, donde todos tengan acceso a la guía de investigación y estudio acerca de los diferentes procesos hasta llegar a un galvanizado óptimo lo que garantiza haber cumplido nuestra meta, aseverando así las prácticas de galvanizado con las metodologías didácticas que se imparten en los sumarios de la asignatura de corrosión.

Para la elaboración de este proyecto es importante la recopilación de información y tener claro el objetivo, así como también saber coordinar la investigación y proceder de forma ordenada en la elaboración del proceso de galvanizado en caliente con



recubrimiento de zinc, porque galvanizado no es otra cosa que un proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro, lo que significa que se debe llevar un control con respecto al tiempo y a los porcentajes de químicos cuando las piezas a galvanizar están interactuando en su revestimiento (baño fundente).

Es así que la corrosión de los metales, es un proceso permanente debido a que ellos están siempre en contacto con los agentes que la provocan, como son el agua, el oxígeno del aire y la lluvia ácida, al mismo tiempo en las zonas costera, también el problema se intensifica debido al ambiente salino. La forma de corrosión más común y destructiva desde el punto de vista económico es la oxidación del hierro, este problema significa un derroche de energía y de dinero en nuestro medio así como en el resto del mundo, que se gastan millones de dólares, tanto en proteger como en reponer los materiales y estructuras metálicas corroídas.

1.1.2 Delimitación del problema.

ESPACIO: Nuestro proyecto de galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc está dirigido a la excelencia académica de La Universidad Estatal de Milagro, Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería, proyecto que consiste en la investigación, diseño y construcción de un proceso a escala para la galvanización de metales, el mismo que cuenta con todos los soportes teóricos para realizar prácticas básicas con baños de zinc fundido, que mejorará las propiedades químicas del metal corroído por medio de la galvanización, elevando su vida útil protegiéndolo del medio ambiente abrasivo que lo rodea (medio corrosivo).

TIEMPO: Los metales en condiciones normales expuestos al medio ambiente son vulnerables a la oxidación, si no se procede a tiempo a la protección de los mismos inevitablemente nos fluctuaría pérdidas cuantiosas, es así que de los múltiples métodos de protección que se usan en los diferentes mercados galvánicos, decidimos implementar a escala un diseño que permita elevar la ductilidad y características del metal en tiempos apropiados con demanda no tan costosas, siendo un buen prospecto para la Universidad a largo o corto plazo.

UNIVERSO: Nuestro proyecto, Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de zinc va a fortalecer los conocimientos teóricos de los estudiantes de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, con una propuesta práctica referente a la protección del acero contra los agentes corrosivos del medio ambiente, al cual es inevitable su exposición.



1.1.3 Formulación del problema.

¿Qué efecto generará a La Universidad Estatal de Milagro, la aplicación Del Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de Zinc, considerando que en la actualidad la Institución carece de un laboratorio de corrosión donde los estudiantes puedan realizar prácticas de galvanizado u otras que tengan afines con la materia de corrosión?

La necesidad para una comprensión práctica sobre la teoría corrosiva en los metales, a llevado a la Universidad Estatal de Milagro a solicitar visitas técnicas a otras instituciones o empresas dedicadas a realizar estos tipos de revestimientos contrarrestando el poder corrosivo que desproporciona a los metales en todo aspecto, por eso estamos seguros que al elaborar esta tesis de grado, vamos a incentivar a la Universidad para que en consejo directivo de autoridades y jefaturas se plantee el proyecto para el montaje de un laboratorio científico donde nuestro proceso de Galvanizado en Caliente con recubrimiento de Zinc, sea parte de este proyecto, convirtiéndose en el primer tema de estudio de análisis dentro del laboratorio.

Por los logros que se llegue a alcanzar, será de mucha importancia la dedicación que se asigne a la presente, involucrando la investigación sistematizada, respaldada con hipótesis de otras bibliografías basadas en proyectos similares, además no hay que descartar la experiencia de algunas organizaciones que pueden ser productivas para mejorar este proyecto, como por ejemplo se puede citar a la Asociación Latinoamérica (LATISA) y al Instituto de Metais Nao Ferroso (ICZ), entidades que tienen una gran trayectoria en procesos de galvanizado.

Es así que nuestro proyecto enfatiza a que las futuras generaciones de Ingenieros Industriales de La Universidad Estatal de Milagro, adquieran conocimientos científicos aplicando los materiales didácticos de cátedra con prácticas instructivas dirigidas por un tutor académico o maestro especializado, dando la utilización y uso adecuado del proyecto en la Universidad, visionando a los estudiantes a ser unos profesionales con espíritu emprendedor de negocios.

Esta micro estructura a elaborar, a mas de los beneficios que recibirán los estudiantes, le dará un realce a la institución, porque le estaría demostrando al campo competitivo de profesionales, que la Universidad estatal de Milagro también genera profesionales de excelentes conocimientos sólidos, consecuente a grandes



aportaciones productivas frente a cualquier obstáculo presentado en una organización, estos resultados ubicaría a la Universidad en otro nivel con una opción más de estudio, para aquello hemos tomado las debidas precauciones en el momento de elaborar nuestro proyecto, considerando las respectivas fórmulas y ecuaciones para determinar los cálculos en el proceso de galvanizado; y en lo posible hemos tratado de preservar el medio ambiente procediendo a evitar contaminación de óxido por medio de soluciones alcalinas limpiadoras, soda caustica, soluciones acuosas de hidróxido de sodio, reacciones químicas, entre otras. Donde además se debe controlar la temperatura en las diferentes inmersiones, obteniendo una eficaz disolución de las capas de óxidos en el ácido.

1.1.4 Sistematización del problema de investigación.

Para explicar éste proceso iniciamos con la formulación de preguntas, las cuales deberán describir el problema a investigar y el desarrollo de la investigación responderá las preguntas, cuyas respuestas, soluciones o entendimiento contribuirá con la ejecución del proyecto.

A continuación las preguntas:

¿Qué es corrosión?

¿Cómo afecta el medio ambiente corrosivo a los metales?

¿Cuáles son las propiedades químicas de los metales en estado normal?

¿Qué es galvanizar?

¿Cuántos y cuáles son los diferentes procesos para galvanizar?

¿Cuáles son los principios cinemáticos dentro del Galvanizado en Caliente?

¿Por qué es importante la preparación del acero antes de galvanizar?

¿Qué tratamientos químicos le debo dar al acero para galvanizarlo?

¿Cuándo se galvaniza se debe cumplir alguna norma?

¿Qué compuestos químicos utilizo en el galvanizado?

¿Cómo interactúa el zinc en los metales cuando se galvaniza?



- ¿Cuándo se logra un buen revestimiento, referente al galvanizado de metales?
- ¿Cuáles son las ventajas de un Galvanizado con baño fundente de zinc?
- ¿Cuáles son las nuevas características que adquiere una pieza galvanizada?
- ¿Cómo saber que el galvanizado en una pieza metálica ya está listo?
- ¿Porqué los baños fundentes de zinc en los metales son proporcionales?
- ¿Qué ventajas tienen los metales Galvanizados?
- ¿Cuáles son las desventajas usuales que presentan los galvanizados con baños de zinc fundente?
- ¿Por qué en ciertas piezas galvanizadas se descascara el recubrimiento?
- ¿Cuán común es en nuestro medio el proceso de galvanizado con baños de zinc?
- ¿Cuán didáctico será este proyecto para la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro?
- ¿Cómo se beneficiará la Universidad estatal de Milagro con este proyecto?
- ¿Existe alguna otra técnica para recubrir metales evitando la corrosión?

1.1.5 Determinación del tema.

La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable, menos noble, que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire. Se usa de modo general en tuberías para la conducción de agua cuya temperatura no sobrepase los 60 °C ya que entonces se invierte la polaridad del zinc respecto del acero del tubo y este se corroe en vez de estar protegido por el zinc. Para evitar la corrosión en general es fundamental evitar el contacto entre materiales disímiles, con distinto potencial de oxidación, que puedan provocar problemas de corrosión galvánica por el hecho de su combinación. Puede ocurrir que cualquiera de ambos materiales sea adecuado para un galvanizado potencial con otros



materiales y sin embargo su combinación sea inadecuada, provocando corrosión, por el distinto potencial de oxidación comentado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Contribuir con la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro con el Diseño y Construcción de un Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de Zinc como instrumento fundamental para la materia de corrosión, donde por medio de prácticas prolongaremos la vida útil de los metales que se exponen a la corrosión.

1.2.2 Objetivos Específicos

Analizar la interdifusión de hierro y zinc, conocer el funcionamiento del proceso de Galvanizado en Caliente para determinar las variables que influyen en este y establecer los principios cinemáticas que están presentes en el sistema y realizar los cálculos numéricos de los mismos.

Además se debe seleccionar equipos y/o elemento del sistema de acuerdo a los cálculos obtenidos, considerando que la limpieza del acero es imprescindible porque la superficie tiene que estar libre de contaminantes; caso contrario estaríamos interrumpiendo la interdifusión del metal con el baño fundente.

Efectuando la prueba del proceso de galvanización es necesario conocer las normas para recubrimientos galvanizados de piezas pequeñas, tornillería y otros elementos de fijación, debido a la acción del sacrificio del zinc,

Cabe mencionar que este logro no solo se basa en la investigación científica, sino también en la elaboración de los planos de la estructura del proceso de galvanizado en caliente, donde hemos tenido muy en cuenta la selección de los materiales a utilizar, porque estos detalles aunque parezcan secundarios, en realidad al momento de poner en marcha cada, pues todos son secuenciales, es decir continuamente uno depende del otro, solo así llegaremos al objetivo proyectado.

Ahora referente al aporte como pedagogía en las instituciones superiores sería un éxito rotundo el Proceso de galvanizado en Caliente, debido a que los estudiantes cada día se entusiasmarán más por la Universidad Estatal de Milagro, ya que



nosotros somos el vivo ejemplo de que forja excelentes profesionales, con conocimientos sabios y listos para emprender debates ante cualquier adversidad.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La galvanización es un procedimiento para recubrir el hierro y el acero mediante su inmersión en un baño de zinc fundido.

Tiene como principal objetivo evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental pueden ocasionar sobre este hierro. Esta actividad representa aproximadamente el 50% del consumo de zinc en el mundo y desde hace más de 150 años se ha ido afianzando como el procedimiento más fiable y económico de protección del hierro contra la corrosión.

Las piezas que van a ser galvanizadas se limpian de grasas y óxidos, y se introducen en un baño de zinc fundido a 450°C, produciéndose durante la inmersión una reacción químico-metalúrgica entre el hierro y el zinc, con varias capas de aleación y una capa exterior de zinc puro. Este proceso se conoce como galvanizado por inmersión en caliente. Este permite un recubrimiento de zinc, que no solo se deposita sobre la superficie, sino que forma una aleación zinc-hierro de gran resistencia a los distintos agentes de corrosión de la atmósfera, el agua o el suelo.

Los beneficios que podemos encontrar en un proceso de galvanización son los siguientes:

Mayor vida útil de los productos: Un producto galvanizado por inmersión tiene una vida útil que varía de 30 a 40 años, dependiendo del grado de exposición.

Sin costo de mantenimiento: Una vez galvanizado, no es necesario pintar ni realizar ningún tipo de mantenimiento.

Bajo costo inicial: El costo de galvanización es bajo comparado con otros métodos de protección.

Versatilidad: El proceso de inmersión permite galvanizar una variada gama de tamaños y formas de los materiales.

Mayor espesor y resistencia de capa: La aleación que se logra da una gran resistencia a golpes y raspaduras derivados de los movimientos o instalaciones.

Garantía de recubrimiento: El galvanizado por inmersión asegura un recubrimiento de toda la pieza por dentro y por fuera.



Estamos seguros que nuestro tema de estudio Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de zinc, será de mucha utilidad para la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro, debido al valioso aporte de conocimientos que generará este proyecto práctico en bien para los estudiantes de la carrera Ingeniería Industrial.

Además el proyecto está soportado con su respectivo material didáctico, donde podemos encontrar todo lo relacionado a la galvanización o recubrimiento de metales con baños de zinc fundido. Es así que la UNEMI seguirá siendo una Institución Superior de cambios continuos, con excelencia, relevancia y dinamismo académico tanto para propios y extraños, porque se está incentivando en la juventud la superación profesional e investigativa.

2.1 MAPA

2.1.1

Se describen

Galvanizado

con una

descripción

para poder

trabajar

en un

proyecto

de

todo lo

que

se

está

trabajando

en

este

proyecto

de

investigación



CAPÍTULO II.

MARCO DE REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO.

2.1.1 Antecedentes históricos.

Se denomina galvanización al proceso que se desarrolló a partir del trabajo de Luigi Galvani, quien descubrió en sus experimentos que si se pone en contacto un metal con una pata cercenada a una rana, ésta se contrae como si estuviese viva, luego descubrió que cada metal presentaba un grado diferente de reacción en la pata de rana, por lo tanto cada metal tiene una carga eléctrica diferente.

Más tarde ordenó los metales según su carga y descubrió que puede recubrirse un metal con otro, aprovechando esta cualidad (siempre depositando un metal de carga mayor sobre otro de carga menor).

De su descubrimiento se desarrolló más tarde el galvanizado, la galvanotecnia, y luego la galvanoplastia.

En galvanotecnia se consideran dos tipos de procesos: la galvanoplastia y la galvanostegia. El primero se refiere al proceso en que los recubrimientos metálicos se hacen sobre las superficies de materiales no conductores; mientras que en el segundo, la galvanotecnia, los recubrimientos siempre se realizan sobre elementos metálicos.

Haciendo énfasis en la galvanoplastia detallo que esta consiste en la deposición electrolítica de capas metálicas sobre objetos no metálicos (principalmente plásticos) revestidos de capas conductoras o sobre matrices negativas de las que se separan posteriormente las capas metálicas. El primer proceso se emplea principalmente con

finos decorativos, mientras que con el segundo se obtienen piezas moldeadas como discos fonográficos, monedas y objetos de plástico, así como cilindros para impresión, instrumentos de precisión y otros; en éste los moldes de plástico, cera o parafina se hacen conductores utilizando grafito o zinc en polvo y recubriéndolos electrolíticamente con un metal.

Mientras que el proceso de galvanizado es una técnica que consiste en la electrodeposición de un recubrimiento metálico sobre una superficie que puede ser o no metálica, se recomienda cuando por costos o por razones estructurales, es necesario modificar las características del metal base seleccionada. El objetivo del recubrimiento es mejorar la apariencia del metal base, protegerlo de la corrosión y en algunos casos, modificar alguna propiedad superficial, como por ejemplo, mejorar sus propiedades eléctricas o mecánicas, dar mayor dureza, ejercer lubricación, entre otras.

La importancia de galvanizar en caliente en la actualidad constituye un bien necesario en la protección del acero contra la corrosión, la misma que requiere un estudio sistemático del proceso considerando varios aspectos, desde la obtención de la materia prima hasta el paso final, donde el fabricante y consumidor final quedan satisfechos con los resultados obtenidos, incluyendo todos los costos de operación del proceso de fabricación hasta la continua demanda en el mercado, con un estudio previo sobre la solvencia económica del entorno que nos rodea, buscando entre todos los tipos de galvanizado el más rentable, de excelente calidad y competitivo frente a otros proveedores.

En el galvanizado general las piezas ya fabricadas, o semi terminadas son pre tratadas y luego galvanizadas. La preparación superficial para galvanizar consta de siete etapas típicas según nuestro proceso: desengrase, lavado, decapado químico, lavado, flux, secado y baño de fundente.

A continuación detallaremos más a fondo cada proceso:

2.1.1.1 El Desengrase.

Se llama en galvanización proceso de desengrase aquel destinado a eliminar de la superficie del acero que será galvanizado, todo vestigio de grasas, aceites, lubricantes, esmaltes y en general productos orgánicos presentes.



Estos productos suelen ser agentes remanentes de procesos previos de formado, maquinado o fabricación de estructuras.

Su eliminación desde la superficie es fundamental dado que interfieren de manera determinante en la calidad de los productos terminados al inhibir directamente la reacción Zn- Fe. Debido a que son soluciones de compuestos desengrasantes alcalinos, su finalidad es remover de la superficie del acero residuos de aceite, grasa y ciertos tipos de barnices, lacas y pinturas.

También hay soluciones desengrasantes del tipo ácido, pero son preferibles las alcalinas porque son de menor costo y más eficientes, el desengrase utiliza una solución de soda caustica caliente para remover los contaminantes orgánicos en mención.

Existe una gran cantidad de procesos que pueden ser implementados para eliminar estos elementos de la superficie del acero.

- ✓ Aplicación de solventes líquidos.
- ✓ Quemado de grasas y aceites.
- ✓ Baño en soluciones desengrasantes.

2.1.1.2 Desengrase Alcalino.

Se trata de soluciones alcalinas a temperatura, dispuestas en estanques en los que se sumergen los materiales que serán galvanizados por un tiempo suficiente para eliminar estos contaminantes. Las soluciones de desengrase alcalinos se deben calentar a temperaturas que van desde los 40°C a los 50°C.

El desengrase alcalino remueve un rango amplio de suciedad bajo condiciones óptimas: aceite, pintura, lacas, tierra, películas.

La temperatura es crítica, cuando un baño alcalino frío es inefectivo, en particular con aceites, debe mantenerse sobre (65° C). En el desengrase alcalino los aceites deben removerse periódicamente de la superficie del baño, eliminando lodos y otras suciedades acumuladas en el fondo del tanque de proceso, normalmente se cambia el baño completo cada uno o dos años.

La composición básica de los baños de desengrase alcalino es el hidróxido sódico (Soda Cáustica), al que suelen añadirse otras sustancias con propiedades alcalinas como carbonato sódico, silicatos sódicos, fosfatos alcalinos o bórax.



Se añade muchas veces agentes tenso activos específicos (jabones), emulsionantes y dispersantes para que faciliten la limpieza.

2.1.1.3 Condiciones de proceso del baño alcalino.

Concentración de Soda cáustica "libre" en el rango de 7 a 15%, ajuste con soda cáustica en grano o en solución, mantener la temperatura del baño entre 130 – 180 F (55 – 85 C), caliente con vapor o calentadores sumergidos en el baño.

En algunos baños se inyecta aire para agitar la solución y remover partículas de suciedad; algunas operaciones filtran la solución.

Es necesario desnatar la superficie del aceite que se acumula, especialmente en baños que usan solo Soda Cáustica o baja temperatura.

2.1.1.4 Ventajas del desengrase alcalino.

Es muy efectivo para la eliminación de aceites y grasas aún, en piezas donde su presencia sea abundante.

El baño de desengrase puede ser usado en muchos casos para eliminar esmaltes ligeros, evitando así el uso de métodos abrasivos.

Las soluciones alcalinas no atacan el acero por lo que el estanque de desengrase puede ser fabricado en acero sin necesidad de que cuente con revestimientos protectores.

2.1.1.5 Desventajas del desengrase alcalino.

Requiere de fuentes de calor dado que la solución alcalina debe ser calentada.

Requiere que se ejecute un proceso posterior de lavado o enjuague dado que el arrastre de solución alcalina hacia el proceso posterior de decapado tiende a neutralizar las soluciones ácidas.



Figura 3. Desengrase Alcalino.



2.1.1.6 Desengrase Ácido.

Otro método de desengrase, es el empleo de una solución desengrasante con pH ácido.

Son agentes cuya composición base son Ácidos fosfóricos.

Este proceso es muy utilizado en proceso continuo de producción, cuando el material está ligeramente engrasado. Se realiza con pH ácido (2,0 a 2,5) y en frío.

2.1.1.7 Control del baño desengrasante ácido.

Medición del PH, usar el baño desengrasante ácido para despojar el Zinc del acero galvanizado (puede impactar su desempeño), normalmente la filtración o tratamiento anual pueden remover los sólidos de la solución.

El empleo del ácido sulfúrico o clorhídrico para ajustar el PH interfiere con la actividad de la mayoría de los agentes desengrasantes ácidos.

- ✓ Medición del PH.
- ✓ Usar el baño desengrasante ácido para despojar el Zinc del acero galvanizado puede impactar su desempeño.
- ✓ Normalmente la filtración o tratamiento anual pueden remover los sólidos de la solución.
- ✓ El empleo del ácido sulfúrico o clorhídrico para ajustar el PH interfiere con la actividad de la mayoría de los agentes desengrasantes ácidos.

En la industria de la galvanización por inmersión en caliente del acero se utilizan dos procedimientos principales para eliminar estos productos.

2.1.1.8 Ventajas del desengrase ácido.

La solución trabaja con la temperatura ambiente sin necesidad de calentamiento.

Este método es de gran utilidad en procesos de galvanización intensivos de artículos homogéneos, dado que calibrando adecuadamente su concentración, la solución permite obtener buena productividad, disminuyendo el tiempo total de proceso al no requerir enjuague posterior.

Por su característica ácida la solución arrastrada en las piezas al decapado no degrada dicha solución, con lo que no es necesario aplicar enjuague o lavado a las piezas para seguir adelante con el proceso.

El uso de desengrase ácido requiere de menos espacio en la planta al no requerir la instalación de estanques adicionales para enjuague.



2.1.1.9 Desventajas del desengrase ácido.

No tiene alta eficiencia en artículos que presenten exceso de aceite o grasas en su superficie.

El tratamiento de residuos líquidos proveniente de esta solución es más complejo que el de baños alcalinos por lo que se debe tener especial cuidado con su recuperación y disposición final. Se arrastra la solución hacia el HCl o el H₂SO₄, complicando el tratamiento de aguas residuales totales.

La solución no es apta para remover esmaltes o pinturas. Los estanques en que se realiza el desengrase deben ser fabricados de elementos con buena resistencia al ataque del ácido o deben contar con protección antiácida (estanques de acero).



Figura 4. Desengrase Ácido.

2.1.1.10 El lavado.

Es el enjuague en agua limpia para evitar el arrastre de líquido de la limpieza realizado en el desengrase, previo al decapado.

- **En la cuba o tanque de enjuague es importante.**

Medir el PH, eliminar las capas de aceite de la superficie, cambiar el enjuague tan frecuentemente como sea posible, usar agua tratada para mejor efectividad del enjuague, sumergir las partes siempre al menos dos veces en el tanque.

2.1.1.11 Decapado Ácido.

Son soluciones en base a Ácido Clorhídrico o Sulfúrico, que tienen la finalidad de remover los óxidos de la superficie del acero. Los decapados en base Ácido Clorhídrico son los más usados, ya que operan a temperatura ambiente y tienen un menor impacto de contaminación en las etapas posteriores.

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

2.1.1.12 Propósito del decapado.

El propósito fundamental que tiene el proceso del decapado es la eliminación de Óxidos de Hierro de la superficie del acero.

Los óxidos de hierro presentes son de varios tipos y su origen tiene dos fuentes principales.

El óxido de laminación producido con la fabricación del acero. Óxidos de hierro generado como resultado de la corrosión atmosférica que ataca al acero desde el momento en que está expuesto al ambiente.

2.1.1.13 Aditivos para los ácidos en el baño decapado.

Inhibidores: Previenen el ataque al metal y la disolución del hierro sobre el acero desnudo, herramientas, entre otras.

Además aceleran la remoción del óxido aumentando la penetración (mojado) del ácido.

Disminuyen el arrastre de residuos mejorando el drenaje y enjuague.

Agentes Anti – vapores: Minimizan las gotas de rocío ácido en el aire alrededor de los tanques de proceso.

Mejoran el ambiente de trabajo y la vida útil del equipo y estructuras. Si hay formación de espuma, esta contiene gas de hidrógeno (flamable).

2.1.1.14 Características de los óxidos presentes en los aceros que serán galvanizados.

Son tres los tipos de Óxidos de Hierro que generalmente están presentes como producto de corrosión en la superficie del acero.



Sus estructuras corresponden a:

- ✓ Fe_2O_3 : Hematita.
- ✓ Fe_3O_4 : Magnetita.
- ✓ FeO : Óxido Ferroso.
- ✓ Hematita con Magnetita y Óxido Ferroso.

Tipo A: Se forma cuando el acero es laminado y enfriado rápidamente desde 570°C . Tiene color rojizo.

- ✓ Hematita con Magnetita.

Tipo B: Se forma cuando el acero es laminado y enfriado lentamente desde 570°C .

Tiene color rojizo.

- ✓ Magnetita con Óxido Ferroso.

Tipo C Se forma cuando el acero es laminado en caliente a temperaturas superiores a 1.100°C y es enfriado rápidamente desde 570°C . Su color gris azulado.

La presencia de estos compuestos de hierro sobre la superficie del acero y la solubilidad en ácido de las mismas, es la siguiente:

- ✓ FeO Usualmente constituye el 80% de la capa de óxido a eliminar y es muy soluble en ácido.
- ✓ Fe_3O_4 Constituye alrededor del 18% de la capa de óxido a eliminar y no es muy soluble en ácido.
- ✓ Fe_2O_3 Constituye alrededor del 2% de la capa de óxido a eliminar y es prácticamente insoluble en ácido.

2.1.1.15 Lavado.

Previo al fluxado es el enjuague en agua limpia para evitar el arrastre de ácido y hierro en solución, los cuales contaminan el fluxado y el zinc fundido del crisol de galvanización. Existen aditivos que ayudan a disminuir el arrastre de estos contaminantes.

- **Enjuague posterior al decapado.**

Es el punto crítico en el proceso, mantenga el último tanque antes del flux lo más limpio posible. Controle el Ph y evite la contaminación por aceite (mantenga el agua tan fresca como sea posible).



2.1.1.16 Fluxado.

Es una solución acuosa de Cloruro de Zinc y Amonio, que disuelve los óxidos leves que se hayan vuelto a formar sobre la superficie del acero luego de su paso por el decapado y el lavado. La película de fundente que se deposita protege la superficie para que no vuelva a oxidarse y asegura un recubrimiento uniforme de zinc, previo las piezas deben secarse y precalentarse antes de sumergirlas en el crisol de galvanizado.

El flux elimina capas ligeras de óxido y herrumbre, protege al metal contra la oxidación antes de que pase al crisol de galvanización. Es importante controlar la contaminación del flux por sales de hierro, sulfatos y de arrastre de aceites.

La temperatura correcta es de 55 a 75°C, y su Ph: 3.5 a 5, mientras que hierro o Sulfatos disueltos < 0.5% en peso.

También existen otros tipos de compuestos de Cloruro de Zinc y Amonio para el fluxado, mientras más óptima es la limpieza, decapado y lavado del acero, permitirá el uso de fluxes que admiten mayor tiempo de secado, mayores temperaturas de precalentado y una mínima emisión de humos al ingresar las piezas al zinc fundido en el crisol.

- **Mantenimiento de flux.**

Sistema de filtración: El exceso de hierro puede removerse de la solución por medio de su precipitación como sal férrica usando peróxido de hidrógeno, o inyectando aire para desplazar la forma iónica del hierro con un adecuado control del Ph.

Un contenido de Fe sobre 0.5% aumenta la producción de dross y puede aumentar el peso del recubrimiento, disminuyendo el contenido de hierro optimizando los enjuagues y manteniendo el Ph lo más cerca de 4. Manchas negras en el producto por exceso de sulfatos en la solución (1%).

2.1.1.17 Secado.

El Secado se describe como un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido, es decir, en la micro estructura del mismo. El



paso final es la aplicación del fundente, que consiste en una solución de sales de cloruros amoniacales de zinc. El fundente elimina el óxido y previene la oxidación posterior de la superficie para asegurar que el zinc fundido pueda mojar completamente el acero.

2.1.1.18 Galvanizado.

En el recubrimiento o galvanizado del material es completamente sumergida en un baño de al menos 98 % de zinc fundido, que se mantiene a 450°C durante el tiempo suficiente para que el material alcance la temperatura del baño. Luego el material es sacado lentamente del baño para escurrir completamente el exceso del zinc.

2.1.1.19 Gasto de zinc en el galvanizado.

Consumo promedio de zinc un poco mayor al 6.0%, recubrimientos de producto final, subproductos dross y ceniza, instalaciones fijas, salpicaduras, cadenas y alambre.

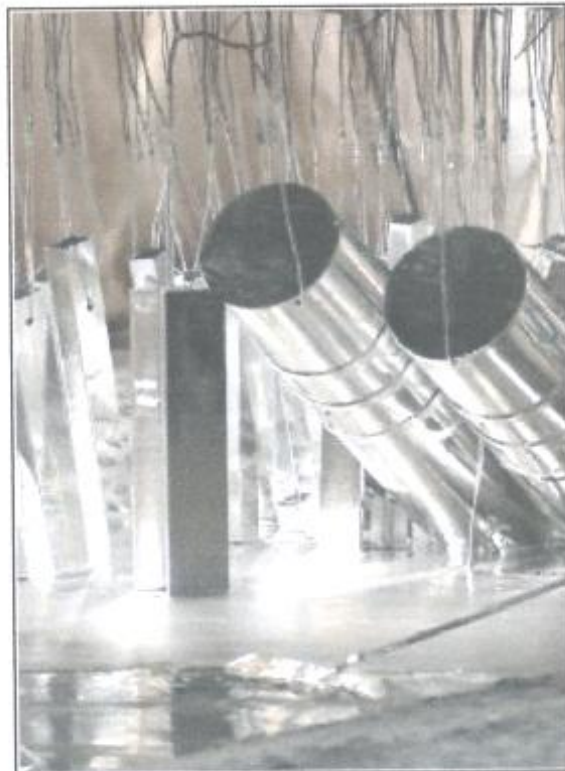


Figura 5. Consumo promedio de zinc en aceros.

2.1.1.20 Química del zinc.

- ✓ Densidad 7.14 g/cm³ – Punto de fusión 419.7° C.
- ✓ Protección contra la corrosión – Tipos de zinc SHG, HG, PW.
- ✓ Protección galvánica.



Cuadro 1. Promedio de vida útil de un acero bien galvanizado.

Espesor del Recubrimiento		Número de años en promedio de duración hasta que aparece una oxidación del 5% sobre la superficie de acero			
Milésimas de pulgada	gr/m ²	Atmósfera Rural	Atmósfera Marina	Atmósfera Urbana	Atmósfera Industrial
0.0015 a 0.0031	269 a 557	17 – 35	12 – 20	10 – 15	4 – 8
0.0031 a 0.0047	557 a 844	35 – 50	20 – 35	15 – 25	8 – 12
0.0047 a 0.0078	884 a 1400	50 – 75	35 – 50	25 – 40	12 – 18

*Referencia: 305 gr/m² = 43 m (mm) = 1 oz/pie² = .0017 pulg.

• **Tipos de Dross.**

- ✓ Dross del fondo.
- ✓ Dross flotante.
- ✓ Dross en las paredes sales de hierro (de decapado).
- ✓ Sales de hierro de la reacción flux/acero.
- ✓ Reacción de la galvanización entre el acero y del zinc fundido.
- ✓ Reacción de galvanización con el acero del crisol.
- ✓ Reacción de galvanización con el acero de las instalaciones fija, cadenas y alambres.

• **Dross del Fondo.**

- ✓ Se encuentra en el fondo del crisol con el plomo del baño.
- ✓ Partículas sueltas de dross usualmente contiene algo de plomo.
- ✓ Se hunde debido a su estructura y el plomo agregado.
- ✓ Punto de fusión más alto que el zinc.

• **Control del Dross.**

- ✓ El dross es sólido a la temperatura del baño.



- ✓ Mantener el Ph de la solución de flux e inyectar aire, luego filtrar la solución, controlar el hierro.
- ✓ Ph ideal 4.5 – 5.5.
- ✓ Enjuague doble para el decapado.
- ✓ Enjuagues tipo cascada.
- ✓ Mantenga la temperatura del baño tan baja como sea posible.
- ✓ Disminuya el tiempo de inmersión.
- ✓ Disminuya la rugosidad de la superficie del acero.
- **Dross Flotante.**
 - ✓ Se encuentra en todo el baño de zinc.
 - ✓ Inversiones de Temperatura.
 - ✓ Contenido de níquel.
 - ✓ El zinc de alta pureza (HG) tiene más dross .
 - ✓ Siempre ocurre cuando el baño esta en reposo.
 - ✓ Los productos acabados lo arrastran.
- **Removiendo el dross.**
 - ✓ No hay una forma correcta para remover el dross.
 - ✓ El mejor dross tiene mayor contenido de hierro.
 - ✓ El dross debe lucir gris, granuloso y opaco, no brillante y lustroso.
 - ✓ Una buena técnica para remover el dross permite que retorne la mayor cantidad de zinc libre al baño.
 - ✓ Dross con un contenido de hierro sobre 3% es un dross bueno.
- **Ceniza de zinc.**
 - ✓ Mezcla de oxido de zinc y zinc metálico atrapado.
 - ✓ La agitación del baño provoca que el zinc se oxide.
 - ✓ Exposición del zinc fundido con el oxígeno del aire.
 - ✓ Excesivo paleo del baño.
 - ✓ Bombeo de zinc fundido.
 - ✓ Acero que entra y sale del baño.
 - ✓ Cantidades reducidas de Al en el zinc ayudan a reducir la formación de ceniza.
 - ✓ Tamizado con una malla de 1/8 recupera 1/3 del peso total de zinc.
 - ✓ Apariencia fina y polvorosa de la ceniza.



Cuadro 2. Encuesta ceniza y dross.

PROMEDIO	
6.27 Kg. Ceniza/45.5 Kg. Zinc	5.5 kg. Dross/45.5 Kg. Zinc
OBJETIVO	
0.91 Kg. Ceniza/ 45.5 Kg. Zinc	2.73Kg. Dross 45.5 Kg. Zinc

- **Funcionamiento de la corrosión del zinc.**

- ✓ Resiste fuertemente a los ambientes más corrosivos.
- ✓ Su velocidad de corrosión es significativamente menor que el del acero.
- ✓ Forma una capa protectora llamada "patina".
- ✓ La patina es una capa muy estable compuesta de zinc.
- ✓ La vida del recubrimiento de zinc depende del grosor del zinc.

- **Intermetálicos de hierro zinc.**

- ✓ **CAPA ETA.**

100% ZINC.

Capa exterior suave – buena ductibilidad.

Color gris claro.

- ✓ **CAPA ETA.**

94% zinc 6% hierro.

Más dura que el acero, resistente a la abrasión.

Color gris oscuro, con frecuencia visible en la superficie de acero reactivo.

- ✓ **CAPA DELTA.**

90% zinc 10% hierro.

Extremadamente dura.

Lugar probable para fracturas quebradizas.

- ✓ **CAPA GAMMA LAYER.**

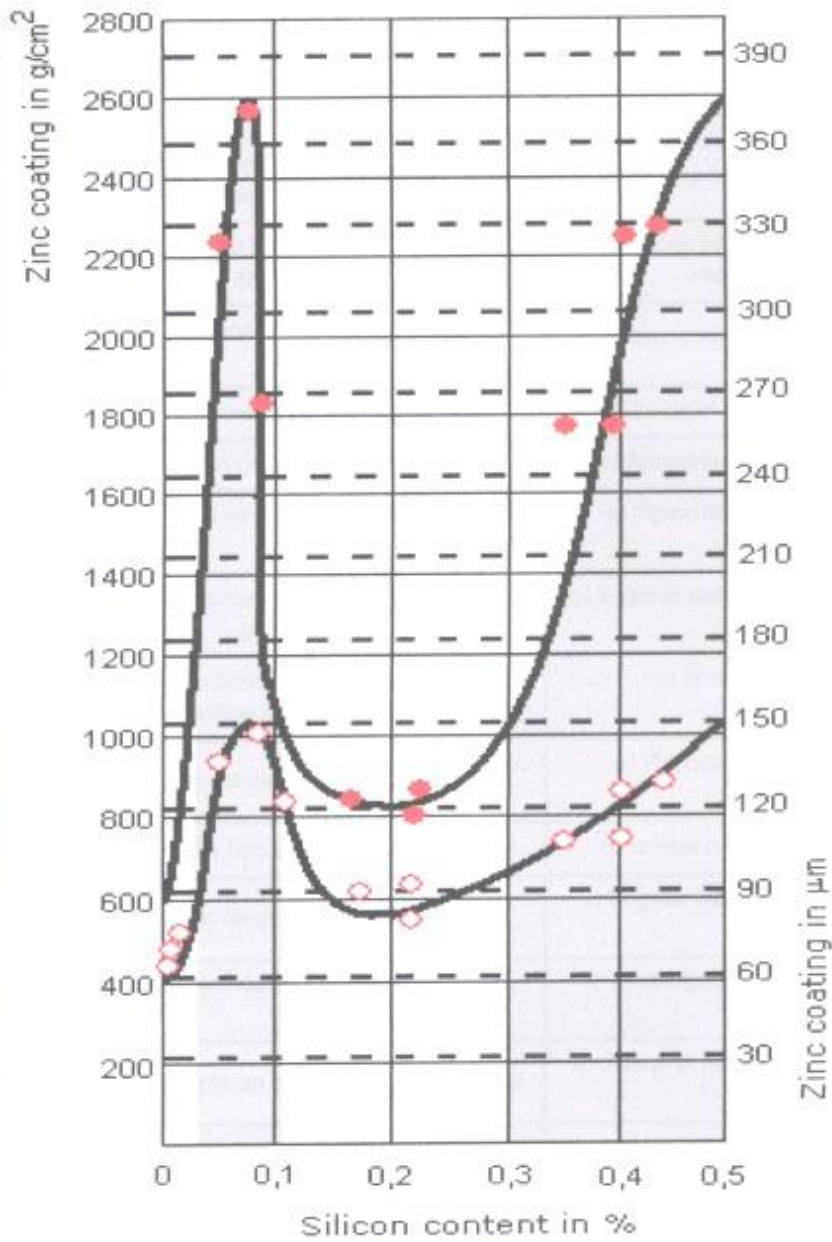
75% zinc 25% hierro.

Capa muy delgada.

Va muy bien con las estructuras de acero.



• Aceros reactivos.



- Duration of hot galvanizing 9 minutes
 - Duration of hot galvanizing 3 minutes
- Batch temperature 460°C

Figura 6. Curvas de reacción del galvanizado.



2.1.1.21 Problemas más comunes en el galvanizado.

Cuadro 3. Análisis de problemas, causas y recomendaciones después del galvanizado.

PROBLEMA	CAUSAS	RECOMENDACIONES
Exceso de Zinc	a) Superficie del material demasiado rugosa por decapado excesivo	a) Disminuir el tiempo de permanencia en la tina de decapado. Emplear inhibidor
	b) Temperatura del baño de zinc demasiado alta	b) Reducir la temperatura del baño de zinc
	c) Demasiado tiempo de permanencia en el baño de zinc	c) Disminuir el tiempo de permanencia del material en el baño
Ecurrido Irregular (terrones y gotas)	a) Artículos en contacto durante la extracción	a) Mantener separados los artículos
	b) extracción demasiado rápida	b) Sacar el material más lentamente
	c) Baño de zinc demasiado frío	c) Aumentar la temperatura del baño
Recubrimiento gris oscuro	a) composición del acero (mucho Si, P o C)	a) Típico de los aceros con alto Si y fundiciones
	b) Enfriamiento lento después de la galvanización	b) Evitar el apilamiento en caliente. Enfriar en agua
	c) Desprendimiento de hidrogeno durante la solidificación del recubrimiento	c) Evitar el decapado excesivo, utilizar inhibidor
Falta de Adherencia (zonas Desnudas)	a) residuos de grasa o aceite	a) Revisar el proceso de limpieza (desengrase)
	b) Residuos de Oxido	b) revisar la operación de decapado
	c) Baño de zinc con exceso de Al	c) Regular las adiciones de Al (0.006%) max
	d) defectos de laminación en el acero base	d) Comprobar la calidad del acero suministrado
	e) Impurezas en la superficie del material	e) revisar el estado del flux y la operación de secado
	f) Porcentaje del Cadmio demasiado alto en el baño de zinc	f) cambiar la calidad del lingote de zinc por uno de mayor pureza
	g) Enfriamiento lento después de la galvanización	g) Evitar el apilamiento en caliente, enfriar más rápidamente
Manchas Blancas	a) Almacenamiento de artículos en forma compacta en condiciones de humedad	a) Almacenamiento y expedición en seco, con buena ventilación, separar las piezas
	b) Empaquetado de artículos húmedos después de enfriamiento en agua.	b) Enfriar en agua muy caliente. Utilizar jabón blando, petróleo.
Granitos	a) Partículas de dross incrustadas	a) Evitar la agitación de la capa de matas y controlar el arrastre de las sales de decapado



2.1.2 Antecedentes referenciales.

Como antecedentes referenciales mencionaremos dos métodos fundamentales para proteger el acero de la corrosión.

2.1.2.1 Protección Catódica.

Se trata de generar un corriente inversa a la electroquímica de corrosión que pasive la superficie del acero mediante el uso de ánodos de sacrificio. De esta manera las superficies anódicas del acero retardarán su reacción en presencia de otro metal que se sacrifica, y se inhibe el fenómeno corrosivo neutralizando los fenómenos electroquímicos que la producen.

En atención a las características electroquímicas del zinc y el acero, en presencia de un medio electrolítico, siempre se oxidará antes el zinc que cubre el acero. Mientras exista zinc con acero, siempre se "sacrificará" el Zinc.

2.1.2.2 Revestimientos.

Se trata de aislar la superficie del acero del medio corrosivo que lo circunda con revestimientos que resistan la acción corrosiva presente o a lo menos, que retarden de manera significativa la exposición directa del acero base al medio corrosivo. Genéricamente existen dos grandes tipos de revestimientos utilizados en la protección del acero:

❖ Revestimientos tipo film protector.

En esta familia encontramos todas las pinturas.

❖ Revestimientos metálicos.

En este grupo encontramos todos los revestimientos electroquímicos, los metalizados y la Galvanización por inmersión en caliente con sus derivados como el zincalum, el sheredizado, los metalizados, etc.

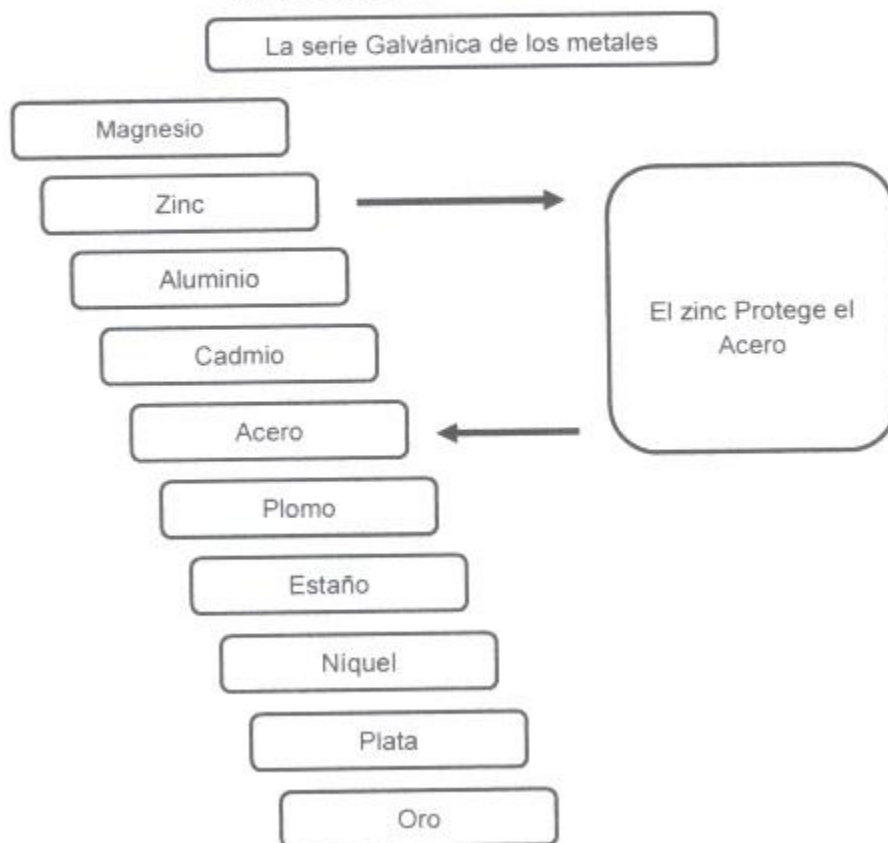
El proceso de galvanización por inmersión en caliente del acero, realizado adecuadamente es una eficiente y efectiva protección contra la corrosión de acero para una gran cantidad de contingencias corrosivas.

La galvanización por inmersión en caliente protege el acero de la corrosión fundamentalmente por dos principios:

La aislación del acero del medio corrosivo, por ser un proceso desarrollado por inmersión, el zinc desarrolla una serie de capas de aleación Zn-Fe cubriendo "toda la superficie expuesta".



Cuadro 4. La Galvanización por Inmersión en Caliente (Hot Dip) como método de protección del Acero contra la Corrosión.



2.1.2.3 Proceso referencial de Galvanización por inmersión en caliente.

Distingamos diez procesos industriales principales de galvanización en caliente:

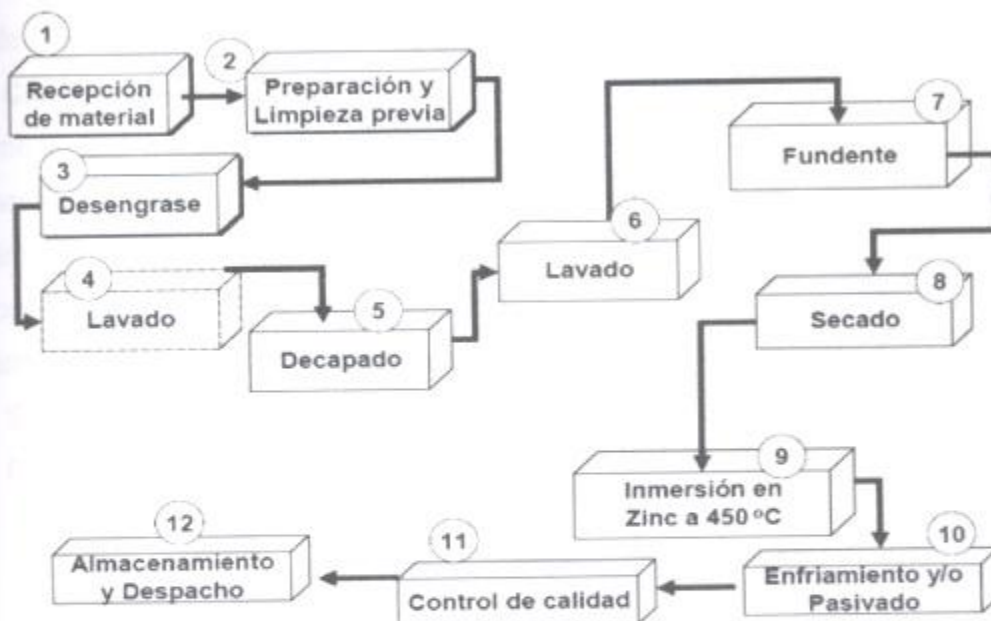


Figura 7. Proceso referencial conocido como galvanización general de todo tipo de productos.



Galvanización por inmersión en caliente de artículos misceláneos después de terminada su fabricación. Este es el proceso conocido como galvanización general de todo tipo de productos.

❖ **Recepción de Materiales.**

Se efectúa una revisión en cuanto a que es posible a través del proceso convencional de galvanización procesarlas adecuadamente. Esto tiene que ver con observar lo siguiente:

❖ **Tamaño del material.**

Verificar la factibilidad de proceso en cuanto a longitud y profundidad del crisol para una o más inmersiones.

❖ **Peso de las piezas mayores y menores.**

Verificar que el peso de las piezas permita el proceso en rango operativo de acuerdo con la capacidad térmica del Horno.

$$T_{\text{inicial}} < 455^{\circ}\text{C} \text{ y } T_{\text{final}} > 430^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tasa horaria de proceso (kg)} < \frac{(\text{Peso (kg) zinc fundido})}{25}$$

25

❖ **Condición superficial.**

Debemos tener en cuenta las piezas arenadas o granalladas, piezas con superficie alterada (piel de naranja o laminilla) y piezas con pintura.

❖ **Calidad y tipo del acero.**

Usualmente se galvanizan aceros estructurales del tipo ASTM A36 ó A52. La composición química del acero es determinante en las características del revestimiento.

Los componentes del acero que son fundamentales para obtener buenos revestimientos galvanizados tienen que ver con la cantidad presente de:

Silicio

Fósforo



De acuerdo a la combinación de ellos se distinguen aceros reactivos o no reactivos mostrados en la siguiente gráfica.

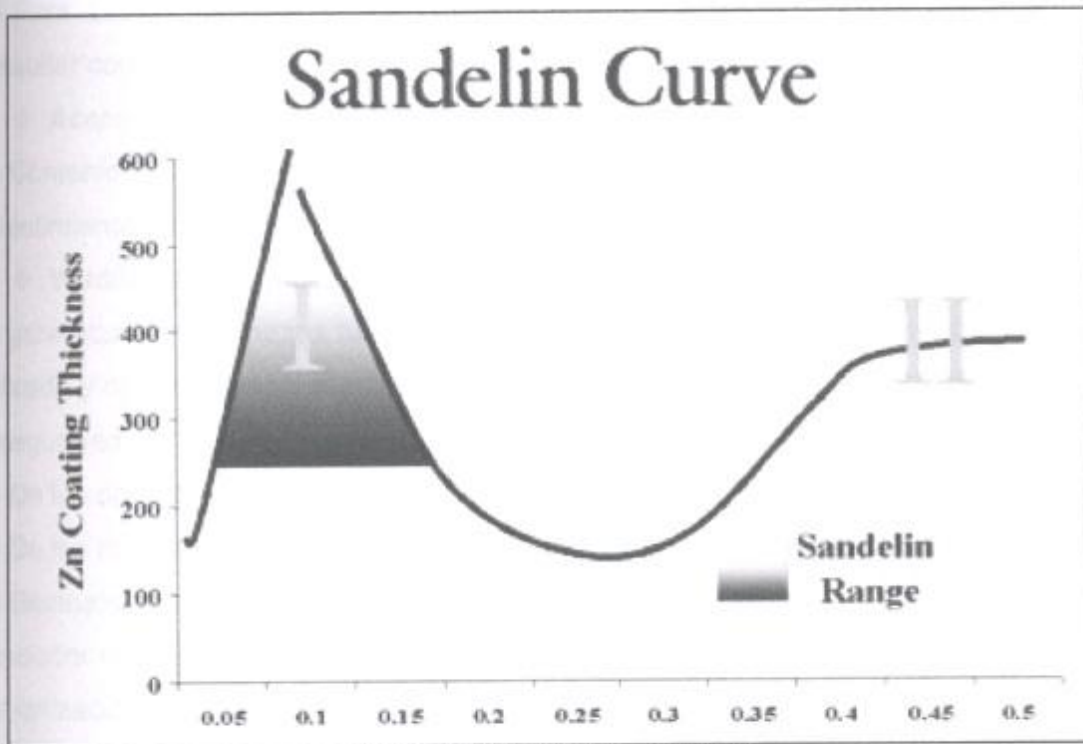


Figura 8. Calidad y tipo del acero.

Rango de Silicio y Fósforo para obtener una buena galvanización:

Para aceros laminados en frío

$$\%Si < 0.03$$

y

$$\%Si + 2.5 \times \%P < 0.04$$

Para aceros laminados en caliente

$$\%Si < 0.02$$

y

$$\%Si + 2.5 \times \%P < 0.09$$

❖ **Aceros de alta resistencia $f_y > 460$ mpa.**

1.- Tener en cuentas las mismas consideraciones dadas para el efecto Sandelin.

2.- Para aceros cuyo $F_y > 650$ Mpa puede generarse en el proceso de Galvanización una pérdida de resistencia de hasta el 35%.



3.- Para aceros cuyo $F_y < 650$ Mpa no existen efectos significativos con respecto a la pérdida de resistencia.

4.- Para aceros de alta resistencia cuya fluencia debe estar controlada se debe consultar con expertos.

❖ **Aceros de alto contenido de azufre.**

1.- Contenidos superiores al 0,18% generan reacciones aceleradas con fragilidad del revestimiento y deterioro del acero, debe evitarse la galvanización de estos aceros.

❖ **Ventilación en piezas tubulares.**

La galvanización de piezas tubulares con espacios confinados es una operación muy delicada y de alta complejidad por cuanto su mala ejecución compromete seriamente la seguridad:

1.- De los operadores; quemaduras graves.

2.- De las instalaciones; destrucción por quemaduras y efecto de ondas expansivas.

3.- Destrucción total de los artículos en proceso.

Alrededor del 80% de las quemaduras por proyección de zinc fundido en plantas de galvanización está directamente relacionado con maniobras mal ejecutadas en el proceso de estos materiales.



Figura 9. Tubo destruido por falta de ventilación.



Este asunto es tan importante que existen una serie de guías y prácticas con respecto a la ubicación y tamaño de las ventilaciones que deben tener los cuerpos huecos cuando serán sometidos al proceso de galvanización en caliente.

Estas recomendaciones deben ser observadas al momento de recibir los materiales en la planta y el cliente debe ser inmediatamente informado cuando los materiales no den garantías para un proceso seguro.

Los materiales que no den garantía de proceso seguro deben ser rechazados y devueltos a su origen.

Si los materiales son admitidos en la planta, deben ser almacenados en zonas delimitadas y con indicaciones claras de su condición de rechazo para que ningún trabajador los incorpore a proceso equivocadamente.

❖ **Factibilidad para el escurrimiento de líquidos, de zinc fundido y ausencia de bolsones de aire.**

Tanto en los procesos húmedos previos como durante la inmersión en zinc las piezas deben permitir el escurrimiento expedito de las soluciones acuosas y del zinc fundido así como disponer de ventilación para permitir la salida de aire o gases confinados.

Las piezas que permiten que cualquiera de los flujos indicados no escurra o ventile y generen bolsones de líquidos o gases facilitan la ocurrencia de:

- 1.- Accidentes por proyección de zinc fundido
- 2.- Contaminación de baños líquidos
- 3.- Destrucción o deterioro de equipos e instalaciones
- 4.- Productos terminados de mala calidad

Las piezas que por su geometría o diseño no permiten el libre escurrimiento de líquidos o zinc fundido y aquellas que no permiten el libre flujo de gases no deben ser sometidas a proceso dado que generan:

- 1.- Accidentes por proyección de zinc fundido
- 2.- Contaminación de baños líquidos
- 3.- Destrucción o deterioro de equipos e instalaciones
- 4.- Productos terminados de mala calidad



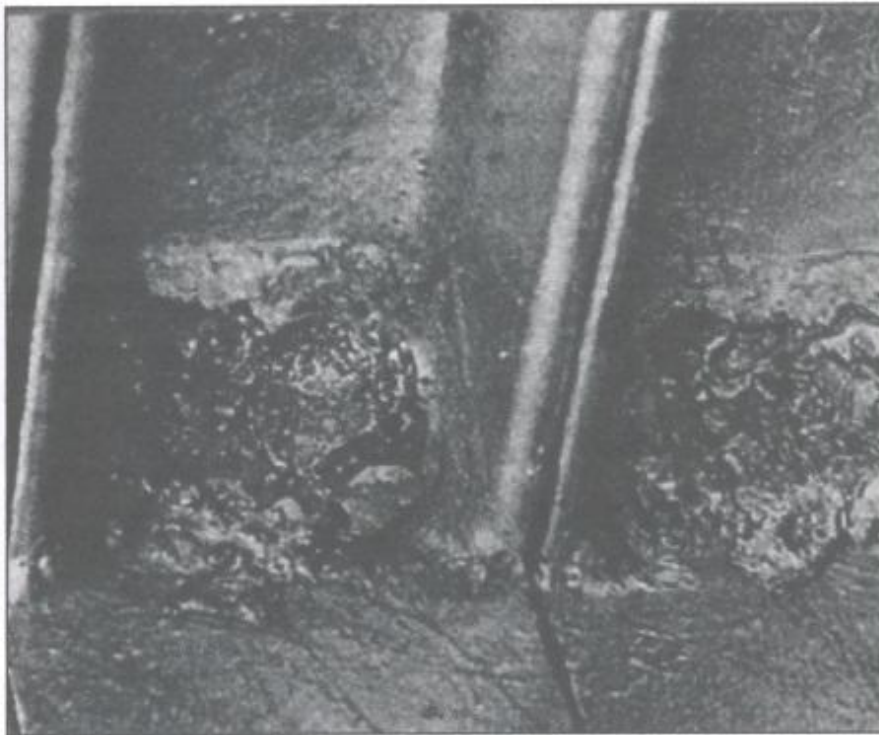


Figura 10. Acumulaciones de zinc por falta de drenaje.

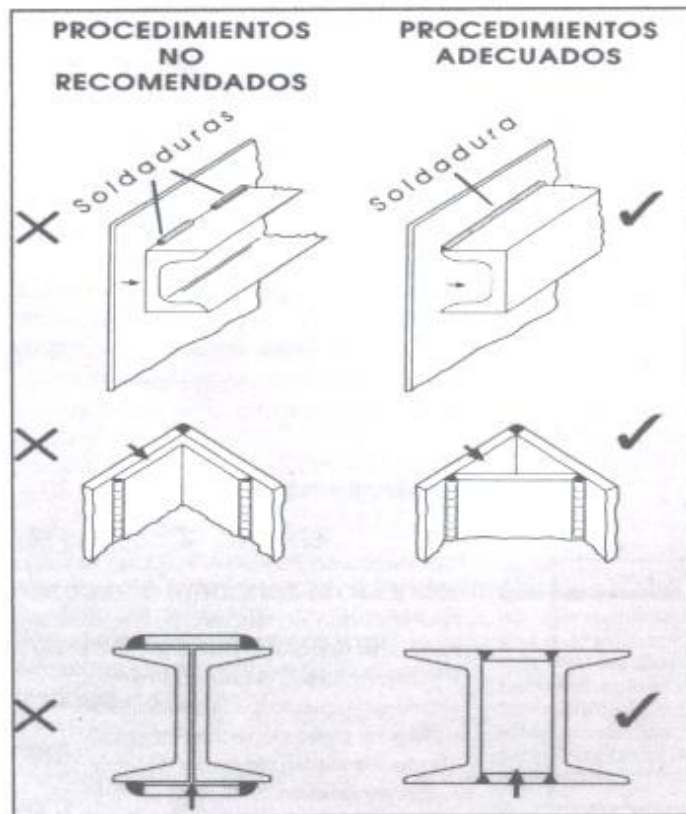


Figura 11. Procedimiento de soldadura para una buena adherencia de zinc.

- ❖ Presencia de virutas, mala terminación en bordes, sello y escorias de soldaduras.



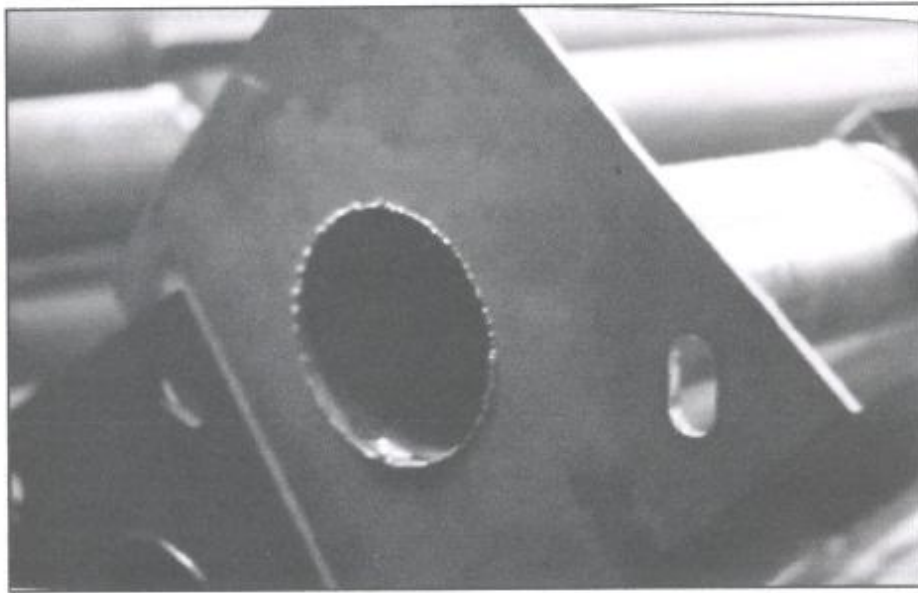


Figura 12. Bordos vivos y virutas.

❖ Partes móviles.

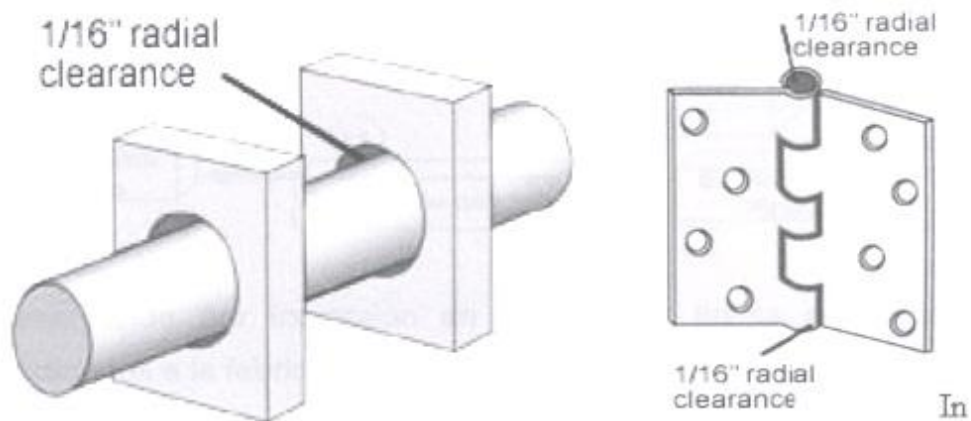


Figura 13. Piezas móviles a galvanizar.

❖ Elementos de protección personal.

El personal que desempeñe funciones recibiendo materiales debe contar con los siguientes elementos de protección personal.

- 1.- Zapatos de seguridad
- 2.- Con punta d acero
- 3.- Guantes de Cuero
- 4.- Pantalón y chaqueta de mezclilla
- 5.- Lentes de seguridad – Casco de seguridad

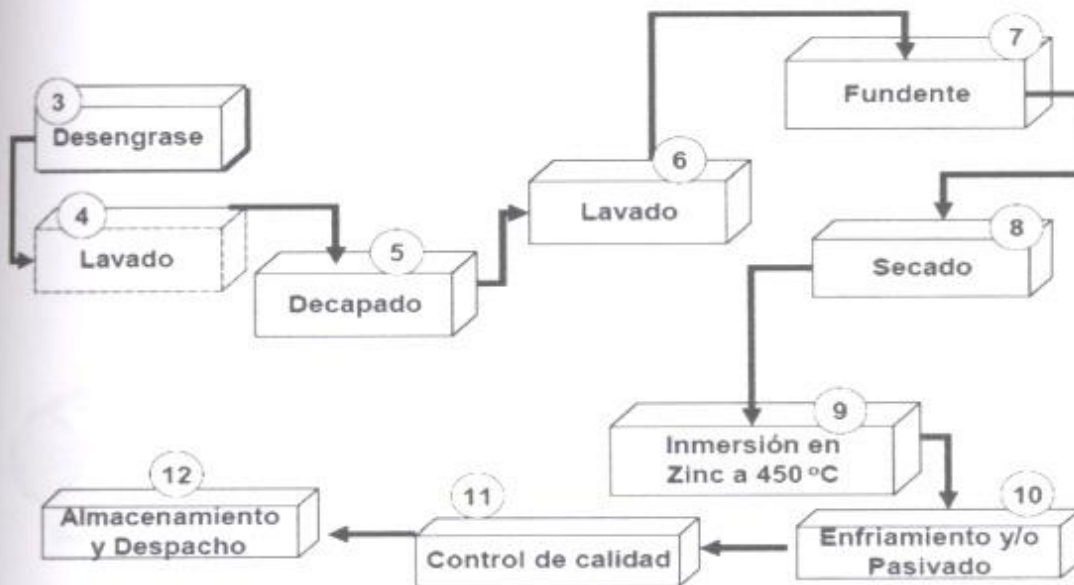


2.1.2.4 Galvanización continua por inmersión en caliente de artículos después de terminada su fabricación.

Este es un proceso similar al anterior pero con partes automatizadas que los caracterizan como procesos continuos.

Especialmente utilizados en fabricación intensiva de tubos, torres de AT, defensas camineras y en general en plantas con producción dedicada.

Figura 14. Galvanización referencial continua por inmersión en caliente de artículos después de fabricados.



2.1.2.5 Galvanización por inmersión en caliente en líneas continuas de productos destinados a la fabricación de otros productos.

Estos procesos son totalmente automatizados y dedicados fundamentalmente a la fabricación de planchas planas y alambre.

❖ Desengrase en Líneas Continuas de Galvanización de láminas.

En este proceso la técnica de eliminación de grasas tiene que ver con que el proceso se inicie a partir de bobinas de acero laminado o, que se realice a partir de planchas salidas directamente del laminador.

Con bobinas laminadas se inicia el proceso instalando el rollo en un dispositivo automático que desenrolla el material y lo incorpora a la línea ingresando de inmediato a un túnel en que se realiza el desengrase alcalino. La solución desengrasante, de composiciones similares a las ya mencionadas, puede ser aplicada por aspersores o sumergiendo la lámina en una canaleta con solución.



En el caso que el material salga directamente del laminador (Sendzimir), la limpieza de la superficie se lleva a cabo por oxidación con llama de los lubricantes, seguido de una reducción a unos 850-950°C en un horno en atmósfera de controlada (amoníaco).

La oxidación de la superficie mediante tratamiento térmico permite la eliminación de la materia orgánica combustible de la superficie. Además, provee de una superficie con un grado de oxidación homogénea.

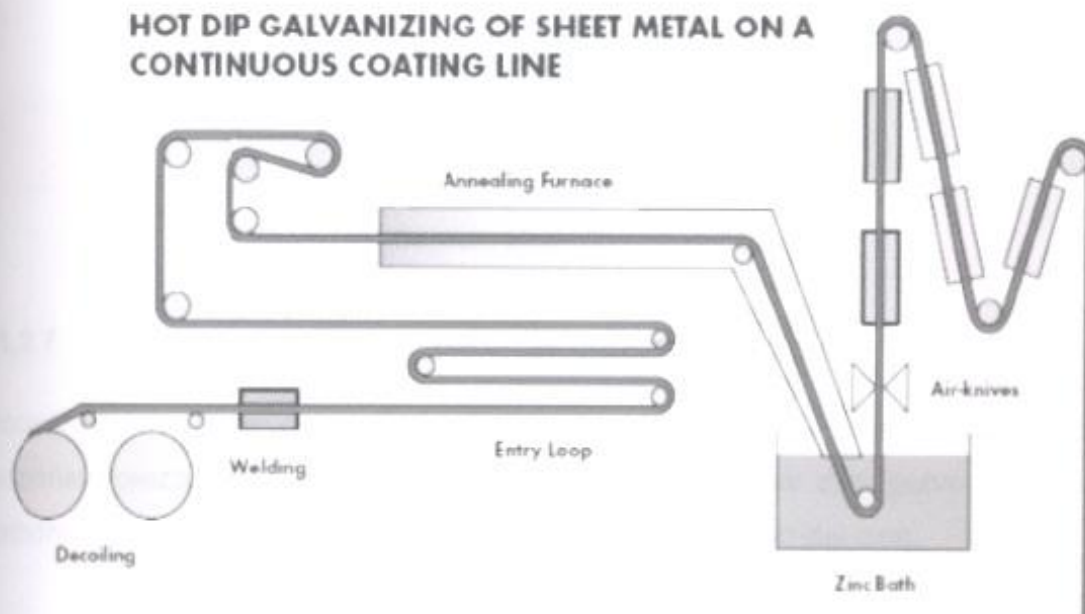


Figura 15. Desengrase referencial en horno.

- ❖ **Proceso Sendzimir:** Se procesa el acero directamente desde el laminador hasta hacer la inmersión en baños de zinc fundido.
- ❖ **Proceso continuo a partir de bobina o rollo de acero:** Comienza el proceso con material acero ya laminado y se incorpora a líneas automáticas de galvanización hasta hacer la inmersión en zinc fundido.

Otras técnicas para aplicar zinc sobre acero:

2.1.2.6 Depósito electrolítico de zinc o zincado electrolítico.

Procedimiento de obtención de recubrimientos de zinc sobre piezas diversas mediante electrólisis de sales de zinc en disolución acuosa.

Predominantemente se utilizan electrolitos ácidos, pero también pueden ser básicos, con o sin cianuros.

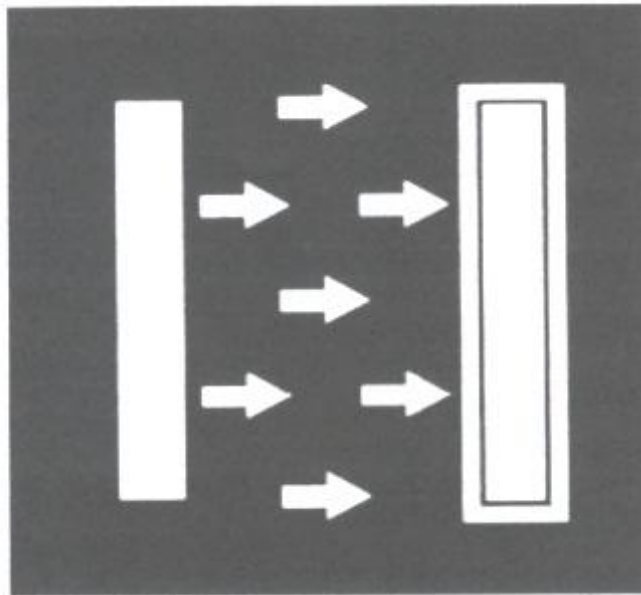


Figura 16. Depósito electrolítico de zinc o zincado.

2.1.2.7 Depósitos metálicos a partir de polvo de zinc:

Procedimientos para obtener depósitos de zinc o de aleaciones Zn/Fe sobre pequeñas piezas, mediante tratamiento de las mismas con polvo de zinc en tambores giratorios, a temperaturas inferiores a la de fusión del zinc.

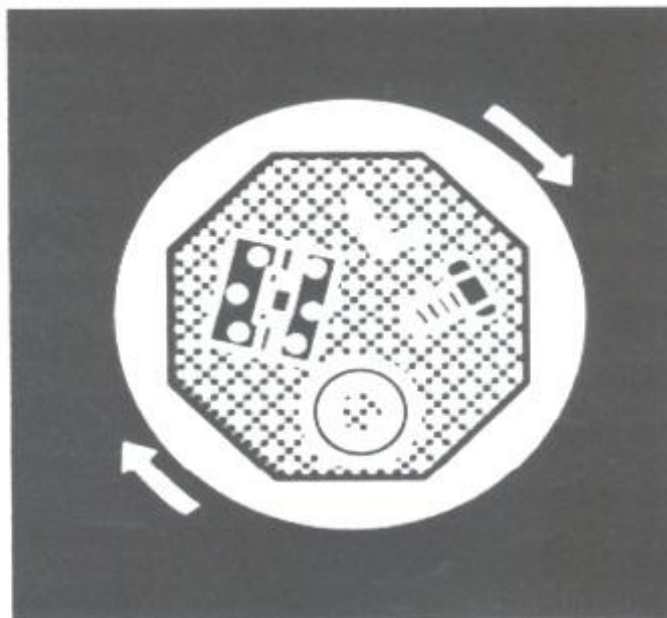


Figura 17. Depósitos metálicos a partir de polvo de zinc.



2.1.2.8 Pinturas de polvo de zinc.

Pinturas pigmentadas con suficiente cantidad de polvo de zinc para que aplicadas sobre la pieza a proteger, una vez secas, formen un recubrimiento conductor de la electricidad.

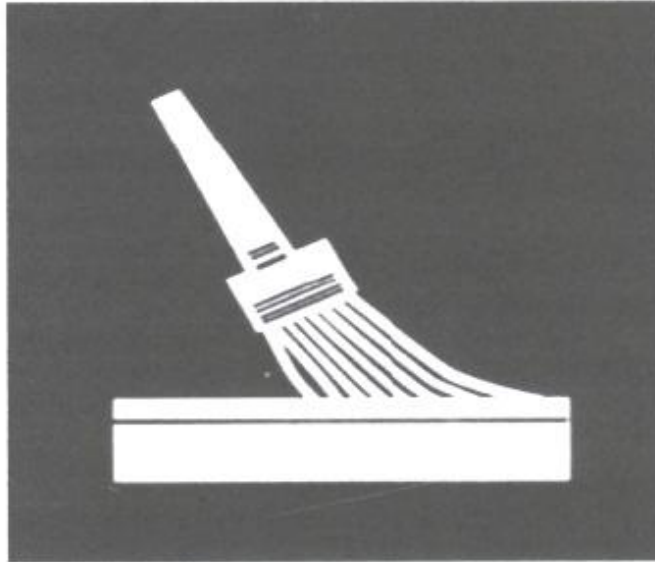


Figura 18. Pinturas de polvo de zinc.

2.1.2.9 Metalización con zinc o zincado por proyección.

Procedimiento de obtención de recubrimientos de zinc sobre superficies previamente preparadas por granallado, mediante la proyección de zinc semifundido con ayuda de una pistola atomizadora alimentada con alambre o con polvo de zinc.

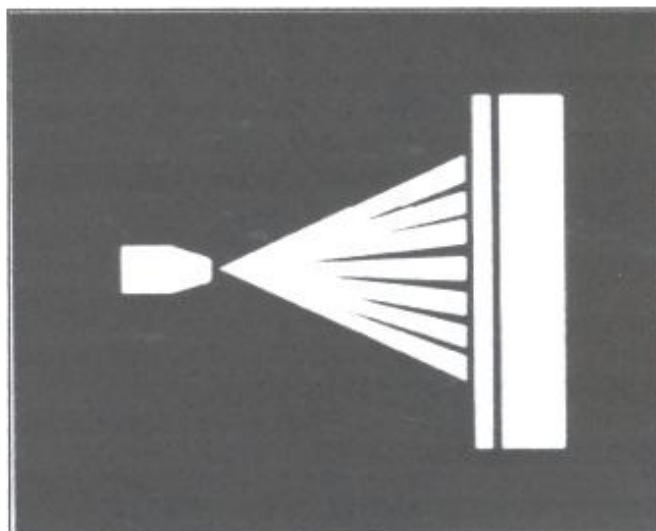


Figura 19. Metalización con zinc o zincado por proyección.



En algunos casos las partes del plástico se metalizan directamente para lograr objetos con acabado metálico, como es el caso de la bisutería, tapas de recipientes para perfumes, algunas autopartes, placas para circuitos impresos, artículos para el hogar, grifería, entre otras.

En general, el proceso de metalizado de plásticos comprende algunas etapas, debido a la naturaleza hidrofóbica de la mayoría de los plásticos, el proceso más conveniente involucra la utilización de solventes. En este proceso se produce un ligero ablandamiento superficial debido a la solvatación parcial de las moléculas poliméricas y a una reacción parcial con el polímero.

Los solventes más usados se presentan en el Cuadro 5:

Cuadro 5. Solventes empleados en tratamiento de plásticos.

SOLVENTE	OBSERVACIONES
Hidrocarburos insaturados	Se usan en combinación con emulsificantes no iónicos
Solventes clorados	
Dimetil formamida	
Metil etil cetona	
Metanol/acido nítrico	Usado en ABS y polipropileno
Peróxidos orgánicos	Polipropileno

❖ Acondicionamiento.

El propósito del acondicionamiento es proporcionar cierta rugosidad superficial, eliminando así la necesidad de tratamientos mecánicos, así como suministrar puntos de enlace químico para los metales aplicados posteriormente.

Para la mayoría de los plásticos, como ABS y polipropileno se realiza principalmente con ácido sulfúrico, ácido crómico y algunos aditivos como ácido fluorhídrico, en proporciones variables que oscilan entre 50 g/l para el crómico y entre 100 y 600 para el sulfúrico. Esta es una etapa que debe controlarse cuidadosamente para garantizar una buena adhesión del metal.

Esta fase del proceso tiene una duración entre 1 y 5 minutos, a una temperatura que oscila entre 20 y 35°C, tiempos y temperaturas menores ocasionan que no se produzca una humectación suficiente de la pieza y se produzcan zonas sin plateo, afectando negativamente la calidad de las piezas finales.

❖ Sensibilización y activación de la superficie.

La sensibilización consiste fundamentalmente en la adsorción en la superficie del plástico de un material fácilmente oxidable. La oxidación del sensibilizador en la



etapa de nucleación sirve para depositar una superficie catalítica en la superficie plástica, entre los activadores más empleados se utilizan sales de estaño (II) y sales de titanio (III); en el proceso más empleado se introduce el cloruro estañoso (10 g/l), en combinación con ácido clorhídrico (40 ml/l).

Las soluciones se aplica a una temperatura entre 20 y 25°C, durante 1-3 minutos, para piezas complicadas se requiere agitar para mejorar los resultados.

Para lograr la nucleación, la superficie sensibilizada es expuesta a una solución de cloruro de paladio u otros metales preciosos, para que a través de una reacción galvánica el paladio se deposite sobre la superficie del plástico y actúe como catalizador.

Una formulación típica de nucleación contiene 0.25 g/l de cloruro de paladio y 2.5 ml/l de HCl, a una temperatura que va de 20 a 40°C, durante un tiempo de 30 a 60 segundos.

❖ Pos nucleación.

Cuando la etapa de nucleación se hace inmediatamente después del acondicionamiento, es necesario usar un agente reductor para formar el catalizador de paladio. Los agentes más comunes son el formaldehído, el Hipofosfito y la hidracina.

❖ Pre metalizado.

Se hace un metalizado previo sin uso de corriente con soluciones que contienen los iones cobre o níquel, donde se hace la superficie conductora mediante un proceso autocatalítico.

El objetivo de este proceso es lograr una superficie suficientemente conductora para el posterior proceso electrolítico. Los depósitos metálicos formados tienen espesores entre 0.1 y 1.5 mm, siendo los más comunes entre 0.5 a 0.7. Las formulaciones más empleadas siguen las siguientes composiciones mostradas en el cuadro 6:

Cuadro 6. Soluciones empleadas en pre metalizado.

COBRE	NIQUEL
CuSO ₄ . 5H ₂ O: 15 g/l	NiSO ₄ . 6H ₂ O: 30 g/l
NaHCO ₃ : 10 g/l	Citrato sódico: 100 g/l
NaKC ₄ H ₄ O ₆ : 30 g/l	NH ₄ Cl: 50 g/l
HCHO: 100 ml/l	NaH ₂ PO ₂ .H ₂ O: 10 g/l
	NH ₄ OH: hasta Ph 10.5 g/l



❖ Metalizado.

Una vez la superficie plástica se hace conductora el metalizado se realiza como con cualquier otro metal. Se inicia con el depósito de 15 mm de cobre, empleando un baño ácido de cobre. Luego se realiza por el recubrimiento de níquel para fines decorativos o de resistencia a la corrosión. Es muy difícil establecer un espesor óptimo de metal, pero la ASTM sugiere emplear los valores consignados en el cuadro 7.

Cuadro 7. Espesores de recubrimiento sugeridos por ASTM.

RECUBRIMIENTO	CONDICIONES DE SERVICIO-ESPESOR(μm)			
	Ligeras	Moderadas	severas	Muy Severas
Cromo	0.25	0.25	0.25	0.25
Cobre acido brillante	13	13	15-20	20
Níquel semibrillante	-	0-8	13	15
Níquel brillante	5	5-10	5-10	5-8
Níquel compuesto	-	-	2.5	5

2.1.2.10 Galvanostegia.

La galvanostegia se refiere a los recubrimientos hechos electrolíticamente sobre superficies metálicas; puede realizarse de dos maneras diferentes, en forma catódica o anódica, dependiendo de si la pieza se coloca para su tratamiento en el terminal anódico o catódico del circuito. El tratamiento por galvanostegia catódica busca tres objetivos fundamentales:

- Ejercer protección contra la corrosión
- Mejorar el aspecto de las piezas tratadas
- Incrementar propiedades superficiales, como dar mayor dureza, mejorar la conductividad, ejercer lubricación, etc.

2.1.2.11 Clasificación de los servicios Galvanotécnicos.

En general los talleres galvanotécnicos se pueden clasificar en dos categorías:

Los talleres de servicio y los talleres integrados. Los talleres de pulido y brillo se encargan de convertir las superficies de las piezas metálicas rugosas en brillantes, mediante un tratamiento mecánico. La operación de un taller de pulido y brillo consta de varias etapas, en las cuales la rugosidad es eliminada paulatinamente por la acción abrasiva de discos elaborados en diferentes materiales.



Todos los procedimientos realizados conllevan cierto número de operaciones en las que se utiliza gran cantidad de sustancias químicas que generan contaminación, tanto al agua como al aire y al suelo.

2.1.2.12 Descripción de los procesos de pulido y brillo.

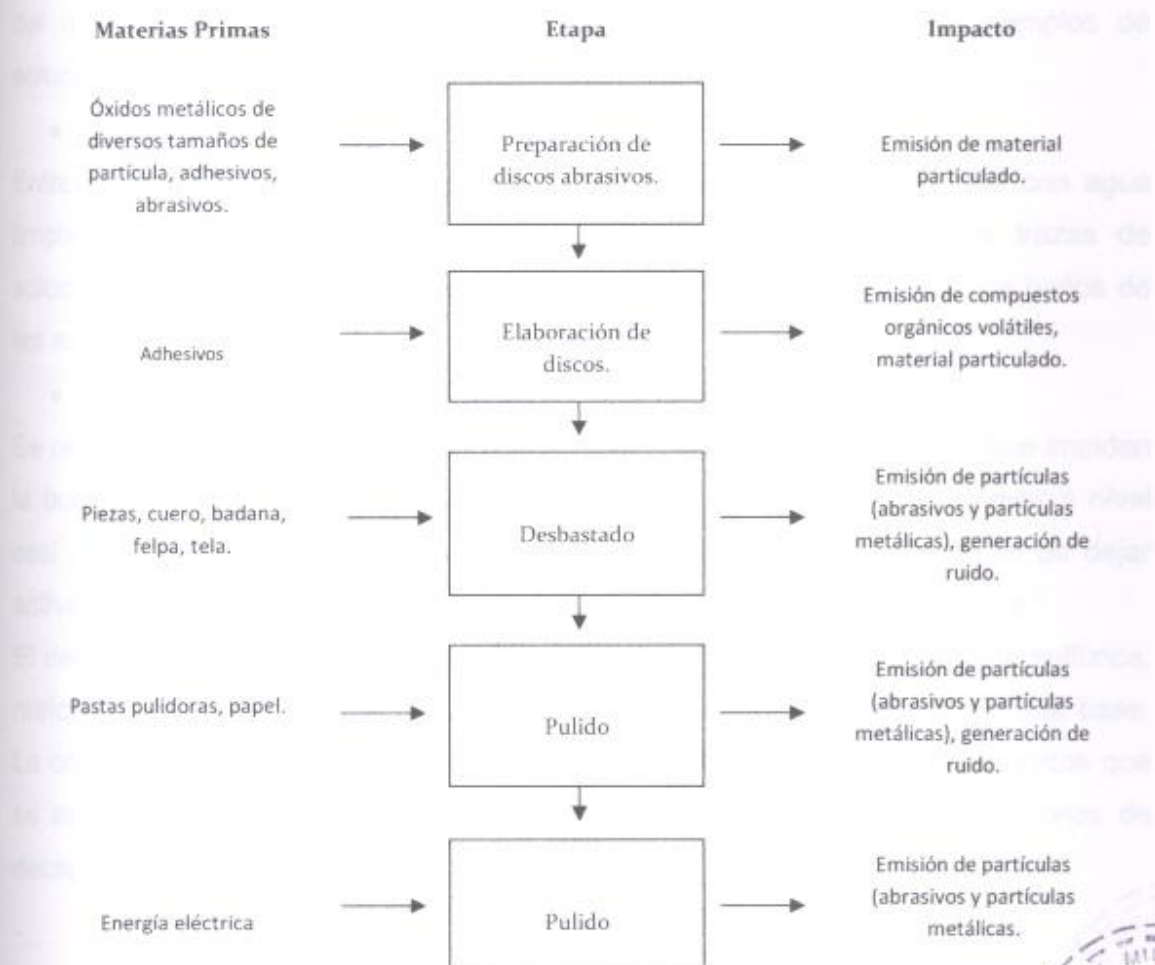
Los diferentes tipos de pulido son:

Pulido y brillo mecánico, el cual se realiza en varias etapas, en donde la rugosidad es eliminada de forma paulatina, mediante la acción abrasiva de discos elaborados en diferentes materiales.

Pulido electrolítico, en éste la superficie pulida y brillada mecánicamente se trata anódicamente, empleando para ello un electrolito compuesto por ácido sulfúrico (40%) y glicerina (40%), en agua; las proporciones son variables y dependen fundamentalmente de la composición del metal base de la pieza.

Las etapas básicas realizadas en los procesos de pulido y brillo de piezas metálicas se ilustran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Etapas de Pulido y brillo.



2.1.2.13 Descripción del proceso de acabado.

Las operaciones realizadas en servicios de acabado son las siguientes:

- **Preparación de la superficie.**

La superficie pulida y brillada mecánicamente, puede ser sometida a un pulido electrolítico empleando como ánodo la pieza y como electrolito una mezcla de ácidos sulfúrico y fosfórico, glicerina y agua. Las proporciones de los componentes del baño dependen de la composición de la pieza a tratar y de las características finales que se desean obtener.

- **Desengrase Electrolítico.**

Esta operación se realiza para quitar restos de grasa, aceites o suciedades que existen en las piezas, como producto de las operaciones de corte y se efectúa electrolíticamente o por inmersión de las piezas en soluciones alcalinas o disolventes orgánicos. Estas operaciones se llevan a cabo a temperaturas superiores a 60°C. Otro método consiste en la aspersion de soluciones alcalinas calientes en las piezas. Las características del desengrasante, así como su forma de aplicación, dependen del metal base de la pieza. En la tabla 4 se muestran algunos ejemplos de soluciones desengrasantes electrolíticas alcalinas.

- **Enjuague Electrolítico.**

Entre cada una de las etapas se hace necesario realizar un enjuague con agua limpia, bien sea por aspersion o por inmersión, para remover las trazas de soluciones que queden adheridas a la pieza, evitando así contaminar los baños de las etapas posteriores.

- **Decapado Electrolítico.**

Se realiza para eliminar los óxidos que puedan existir en la superficie y que impiden la buena adherencia de la película metálica; además se pretende remover a nivel casi molecular hasta una película delgada de metal reducido, con el fin de dejar activa la superficie lográndose una mejor adherencia de la película metálica.

El decapado se hace por inmersión en ácidos inorgánicos, principalmente sulfúrica, nítrica o clorhídrica, generalmente inhibidos para evitar que ataquen el metal base. La concentración varía entre 5 y 20%. La remoción de los óxidos origina lodos que se acumulan en los tanques de decapado. La composición de las soluciones de decapado químico se presenta en la tabla.



Cuadro 9. Soluciones desengrasantes electrolíticas.

base \ Metal	Aleaciones ferrosas y de cobre	Zinc y sus aleaciones	Aluminio y sus aleaciones
Composición (g/l)			
Cianuro de sodio	40	40	
Hidróxido de sodio	40	20	
Fosfato trisodico	40		
Carbonato de sodio		40	50
Fosfato de sodio			20
Agente humectante	0.75	0.75	0.75
Voltaje (v)	6	6	6
Temperatura (°C)	50	50	50
Densidad de corriente (A. dm)	12	12	10

- **Neutralización.**

Después del decapado y a pesar del enjuague, pueden quedar restos de ácidos que dan lugar a la formación de hidrógeno naciente y a cambios en el pH de las soluciones de metalizado, para evitar tales inconvenientes se hace necesario eliminarlos mediante la inmersión de las piezas en soluciones alcalinas.

- **Electrólisis.**

La pieza es colocada como ánodo o como cátodo, dependiendo del tipo de proceso, conectada a un rectificador o generador de corriente y sumergida en el electrolito que contiene en solución los iones metálicos que se han depositado sobre su superficie. Como electrodo complementario se puede conectar un electrodo inerte o uno del metal que se desea depositar. La temperatura del electrolito, la densidad de corriente, la agitación, etc. dependen del metal base y del metal a depositar. La tabla 6 muestra la composición de distintas soluciones para baños electrolíticos.



Cuadro 10. Composición de baños electrolíticos.

METAL DEPOSITADO	TIPO DE BAÑO	COMPOSICION (G/L)	ANODOS	T (°C)	PH
Cadmio	Alcalino	Oxido de cadmio: 37.5 Cianuro de sodio: 100 Sulfato de níquel: 2	Cadmio	Ambiente	13
Cobre	Alcalino	Cianuro de sodio: 37.5 Cianuro de cobre: 30 Sal de Rochelle: 50 Carbonato de sodio: 38	Cobre	50	12-13
Cobre	Acido	Sulfato de cobre: 200 Acido sulfúrico: 27.5	Cobre	Ambiente	
Cromo	Acido	Acido crómico: 250 Acido sulfúrico: 2.5	Cromo: 93% Antimonio: 7%	40-50	
Estaño	Acido	Sulfato estañoso: 60 Acido sulfúrico: 75 Sulfato de Sodio: 100 Gelatina: 2 Naftol: 1	Estaño	Ambiente	
Latón	Alcalino	Cianuro de cobre: 30 Oxido de zinc: 7.7 Cianuro de sodio: 11 Hidróxido de amonio: 3 Oxido de cadmio: 0.8	Cobre: 70% Zinc: 30%	Ambiente	10.5-11.5
Níquel	Acido	Sulfato de níquel: 300 Cloruro de níquel: 60 Acido bórico: 5 Sacarina: 1.5 Tiourea: 0.1 Laurilsulfato de sodio: 0.5	Níquel	45-50	4.2-4.8
Zinc	Alcalino	Oxido de zinc: 60 Cianuro de sodio: 22.5 Hidróxido de sodio: 52.2 Trióxido de molibdeno: 0.5 Sulfuro de sodio: 3.5 Gelatina: 2	Zinc	Ambiente	13



Previo a este proceso electrolítico se efectúa el enganche de las piezas en bastidores diseñados para tal efecto. La preparación de la ganchera merece consideración por cuanto se realiza manualmente fundiendo el aislante plástico previamente calentado sobre ésta.

2.1.2.14 Remoción de Pinturas y productos de corrosión.

❖ Superficies pequeñas.

- Uso de solventes
- Limpieza Mecánica
- Quemado con soplete

❖ Superficies grandes.

- Limpieza Abrasiva
- Arenado
- Granallado

Estos procedimientos son útiles también para eliminar escorias de soldadura. Los métodos de limpieza por chorro abrasivo generan rugosidad superficial aumentando el costo del producto terminado por excesivo depósito de zinc.

❖ Superficies interiores de tubos y estanques.

Es posible eliminar algunas pinturas y esmaltes en las instalaciones de desengrase alcalino a temperatura con que cuentan las plantas de galvanización.

Debe ser calificada la factibilidad de este proceso caso a caso. La pintura puede ser eliminada a través de quemado con soplete, aunque no es recomendable, en casos muy calificados puede eliminarse la pintura por quemado a través de inmersión de piezas pintadas en el horno de galvanización.

Este es un proceso de alto costo por consumo de zinc que queda en las piezas y la eventual generación de residuos como cenizas y mate (dross).

Lleva asociado pérdidas de productividad por el uso de la instalación en procesos distintos a la galvanización (el procedimiento debe ser autorizado por la gerencia).

2.2 MARCO CONCEPTUAL.

2.2.1 Poder anticorrosivo del zinc.

Las principales ventajas a la hora de utilizar el zinc son su bajo punto de fusión (alrededor de 450 ° C) y el hecho de que el zinc es anódico respecto al acero, es decir, cuando se pone en contacto con hierro o acero en presencia de un electrolito, el zinc se corroe con preferencia frente al hierro o el acero.



El zinc y sus aleaciones tienen una excelente resistencia a la corrosión en la atmósfera. La propiedad que da al zinc esta resistencia es su habilidad para formar una capa protectora que consiste en una mezcla de óxido de zinc, hidróxidos de zinc y varias sales básicas, dependiendo de la naturaleza del medio. Cuando se han formado las capas protectoras y se ha cubierto por completo la superficie del metal, la velocidad a la que tiene lugar la corrosión se reduce considerablemente.

En aire seco, inicialmente se forma una película de óxido de zinc por influencia del oxígeno atmosférico, que pronto se convierte en hidróxido de zinc, carbonato básico de zinc y otras sales básicas de zinc, dióxido de carbono e impurezas químicas presentes en la atmósfera. La solubilidad en agua de los óxidos y carbonatos de zinc es muy baja, por lo que la superficie de zinc continúa corroyéndose, pero muy lentamente.

Los recubrimientos galvanizados pueden proteger el acero dulce frente a la corrosión indefinidamente en ciertas atmósferas secas.

El efecto anticorrosivo y la vida útil de la pieza galvanizada dependen fundamentalmente del espesor de la capa de galvanizado. Éste se indica en μm o en g/m^2 de superficie. El factor de conversión entre el espesor de la capa (μm) y el peso por m^2 (g/m^2) es 7. Un recubrimiento de zinc con un espesor de capa de $20 \mu\text{m}$ equivale a un peso de $140 \text{g}/\text{m}^2$.

En los cuadros 12 y 13 se muestran las especificaciones de los productos galvanizados por inmersión en caliente así como la vida esperada para dichos productos cuando se encuentran en diferentes condiciones ambientales:

Cuadro 11. Especificaciones de productos galvanizados por inmersión en caliente.

Identificación	Tipo de Pieza	Peso mínimo del recubrimiento de galvanizado
A	Piezas de acero de 5 mm de espesor y piezas de fundición de hierro.	$610 \text{g}/\text{m}^2$
B	Piezas de acero de 2-5 mm de espesor	$460 \text{g}/\text{m}^2$
C	Piezas de acero de 1-2 mm de espesor	$335 \text{g}/\text{m}^2$
D	Piezas roscadas y otras piezas que han sido centrifugadas	$305 \text{g}/\text{m}^2$
E	Piezas de acero de estructuras	$1.200 \text{g}/\text{m}^2$



Cuadro 12. Pérdida media de zinc anual por corrosión y vida útil anual en años de capa de zinc.¹

		Atmósfera rural ³	Clima marítimo ³	Atmósfera industrial ³
Pérdida de zinc anual		13,3 g/(m ² . a)	32,9 g/(m ² . a)	70,7 g/(m ² . a)
Recubrimiento de zinc ² (por un lado)		Atmósfera rural ³	Clima marítimo ³	Atmósfera industrial ³
20 µm	120-200 g/m ²	9-15 a	4-6 a	2-3 a
40 µm	300-500 g/m ²	23-38 a	9-15 a	4-7 a
60 µm	500-800 g/m ²	38-60 a	15-24 a	7-11 a

¹Periodo durante el cual no presenta la superficie de acero más de un 5% de óxido.

² Las capas entre 120 y 200 g/m² suelen aplicarse a chapa fina galvanizada por inmersión, mientras que en el galvanizado de piezas se aplican recubrimientos de entre 300 y 800 g/m².

³ Las condiciones locales pueden alterar estos valores medios.

2.2.2 Procesos Metalúrgicos durante el Galvanizado por inmersión.

Durante el proceso de galvanizado del acero se forman en la interfase acero-zinc diferentes capas de aleación Fe-Zn, dicha formación es debida a la difusión bidireccional del zinc líquido con la superficie del acero, que conforma la estructura estratificada del recubrimiento de zinc.

El recubrimiento no es una mera deposición superficial de zinc sino que constituye una verdadera aleación metalúrgica superficial con 3 capas de aleaciones Fe-Zn y la cuarta más externa de zinc puro. Las aleaciones Fe-Zn aunque son frágiles son más duras que el acero base, lo que significa que resisten muy bien golpes o rozaduras sin desprenderse.

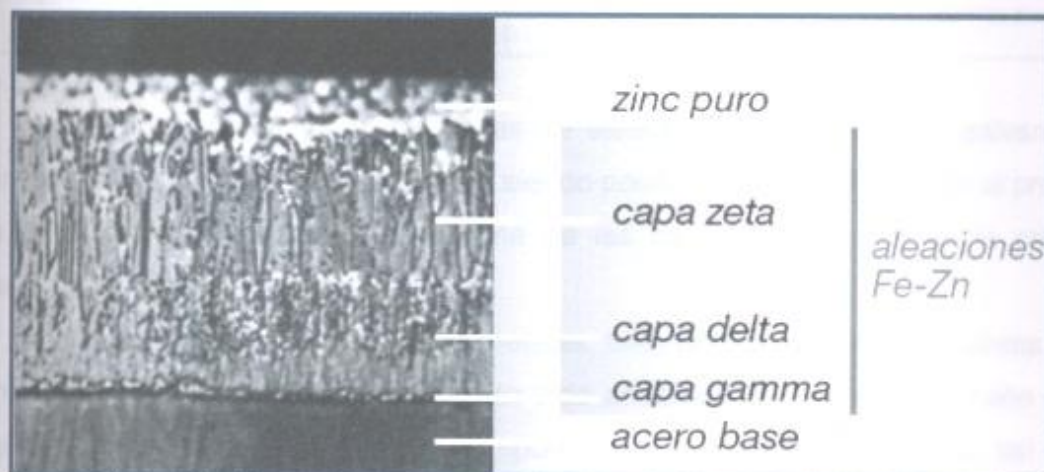


Figura 21. Micrografía de un recubrimiento de acero galvanizado en caliente.

Un adecuado pretratamiento permite que el zinc fundido reaccione químicamente con la superficie de acero de una pieza sumergida, produciendo capas de Fe-Zn de



distinta composición y espesor en la interfase. Si la reacción ha sido adecuadamente controlada, en la superficie externa de la pieza habrá una capa de zinc de la misma composición que la del baño de zinc fundido.

La calidad y el espesor total de un recubrimiento depende de:

- La calidad del zinc.
- La temperatura del baño de galvanizado.
- Tiempo de inmersión de la pieza.
- Velocidad de extracción de la pieza del baño de zinc.

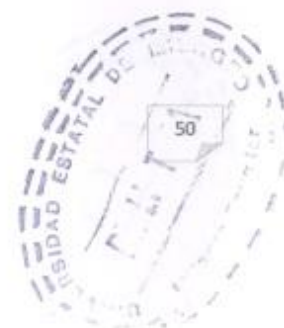
El caso extremo es la formación en el recubrimiento de capas de aleación duras de Fe-Zn con un gran contenido en hierro (matas de zinc). Este fenómeno repercute negativamente en la adherencia de la capa de zinc sobre la pieza. Asimismo, este fenómeno puede aparecer en aquellos aceros cuyos contenidos en silicio sean muy altos (>0.3%) o muy bajos (entre 0.03% y 0.12%), por lo que al no existir la posibilidad de controlarlo, se recomienda la utilización de aceros cuyo contenido en silicio este dentro de los valores limite dados anteriormente.

Cuadro 13. ¹Microdureza, dureza Vickers con pequeñas cargas para capas delgadas.

Fase	Tipo de red	Contenido de Fe (% en peso)	Microdureza ¹	Propiedades Magnéticas	Denominación
Capa gamma	Cubica	20-28	3750-4150	Ferromagnética	Capa de adherencia
Capa delta	Hexagonal	7-11.5	2630-3550	Paramagnética	Capa de palizada
Capa zeta	Monoclínica	6-6.2	1800-3000	Paramagnética	Capa de aleación
Capa eta	Hexagonal	0.008-0.018	470-480	Paramagnética	Capa de zinc duro

El espesor conjunto de todas las capas de aleación de una pieza ya galvanizada está comprendido entre 50-150 μm , no siendo posible el controlar durante el proceso de galvanizado la dureza de cada una de las capas, por lo que en la práctica aparecen variaciones.

El zinc fundido puede contener otros metales, bien porque ya estén presentes en el zinc como impurezas, o bien que hayan sido añadidos directamente al baño como material de aleación. Las principales impurezas que pueden encontrarse, así como influencia, son las siguientes:



- **Hierro.**

El hierro es escasamente soluble en el zinc fundido y cualquier cantidad por encima del 0.02% producirá matas de zinc, una aleación Fe-Zn sólida que contiene 25 partes de zinc frente a una de hierro. Se afirma que un baño no saturado con hierro produce un recubrimiento con una capa "zeta" más tenue que un baño saturado, aunque la variación es pequeña. La diferencia se debe probablemente a efectos de disolución en un baño no saturado.

En el fondo de la cuba se deposita una capa de mata de zinc. Aunque esta mata esta basada en la fase zeta, su composición exacta depende de la presencia de otros elementos de aleación en el baño. Las matas de zinc deben eliminarse periódicamente del fondo del baño. Como la solubilidad del hierro varía con la temperatura, cuanto más baja es la temperatura, se eliminara mayor cantidad de matas.

- **Plomo.**

El plomo suele añadirse para ayudar a la eliminación de las matas de zinc. Debido al mayor peso específico del plomo, el fondo del baño se cubre totalmente con plomo líquido. De esta forma se protege el fondo del baño contra la formación de matas.

- **Aluminio.**

Suele añadirse alrededor de un 0.005% de aluminio al baño de galvanizado, debido a que reduce considerablemente la velocidad de oxidación del zinc fundido, por lo que reduce las pérdidas de zinc. Además, el aluminio mejora la uniformidad del recubrimiento. Sin embargo, estas adiciones de aluminio deben hacerse de forma controlada ya que cantidades muy altas pueden causar dificultades en la formación del recubrimiento.

- **Magnesio.**

Se afirma que adiciones del 0.03% de magnesio proporcionan una mayor resistencia a la corrosión del recubrimiento.

- **Níquel.**

El níquel se añade a los baños de galvanizado para controlar la excesiva reacción de algunos aceros con el zinc fundido (particularmente aquellos con un contenido en silicio del 0.04-0.12%).



- **Cobre.**

El cobre suele encontrarse en los baños de galvanizado como impureza. En pequeñas cantidades la adición de cobre suele aumentar el crecimiento de la capa de aleación.

- **Cadmio.**

El cadmio es un metal que se presenta como impureza en los minerales de zinc, estando presente en pequeñas cantidades en el baño de zinc, dependiendo de la pureza del zinc empleado.

Cuadro 14. Muestra la composición típica de un baño de zinc fundido en % y en peso.

Metal de aleación	Porcentaje en peso
Zinc	98.9%
Plomo	1.0%
Aluminio	0.002%
Cadmio	0.02%
Otros metales (Cu)	Trazas

2.2.3 Técnicas de Galvanizado por inmersión.

Dentro del proceso de galvanizado por inmersión se distingue entre técnicas continuas y discontinuas, distinguiéndose entre ellas los siguientes tipos:

- ❖ **Técnicas discontinuas.**

- Galvanizado de Piezas
- Galvanizado de Tubos

- ❖ **Técnicas continuas.**

- Galvanizado de chapa
- Galvanizado de alambres

En cualquiera de las técnicas de galvanizado por inmersión es necesario realizar un tratamiento previo de las piezas para obtener una superficie metálica brillante (desengrase, decapado, Fluxado). Esta es una condición necesaria para que haya una buena adherencia del recubrimiento de zinc sobre la pieza.

2.2.4 Técnicas discontinuas.

Es la técnica que mas se utiliza y consiste en la inmersión de las piezas previamente tratadas en un baño de zinc fundido.



2.2.5 Galvanizado de tubos.

Como en el caso anterior también es necesario el pretratamiento de las piezas antes de sumergirlas en el baño de zinc fundido. Las principales diferencias consisten en que en esta técnica existe una mayor automatización de toda la operación y en que se realiza un control del espesor del recubrimiento.

Éste se controla por la parte exterior por medio de un anillo de aire comprimido y con un chorro de vapor por la parte interior del tubo eliminando el zinc sobrante antes de que éste se solidifique.

2.2.6 Técnicas continuas.

❖ Galvanizado de alambre.

El pretratamiento por el que pasan los alambres antes de entrar en el baño de zinc es el mismo que en el resto de técnicas, posteriormente tiene lugar un enfriamiento al aire o un templado con agua, para proceder por último al rebobinado. La operación se realiza en una línea de proceso continua.

❖ Galvanizado de chapa.

Los principales factores que influyen en el proceso de galvanizado de chapa son: preparación de la superficie, control de la temperatura durante el recubrimiento, composición del baño y tratamientos posteriores.

Existen varios procesos, pero el más utilizado es el denominado proceso Sendzimir, el cual consiste en:

La limpieza de la superficie se lleva a cabo por oxidación con llama de los lubricantes, seguido de una reducción a unos 850-950°C en un horno en atmosfera de amoniaco.

La oxidación de la superficie mediante tratamiento térmico permite la eliminación de la materia orgánica combustible de la superficie. Además provee de una superficie con el mismo grado de oxidación, independientemente de variaciones en la limpieza de la superficie.

Durante la posterior reducción, los productos de reacción son gaseosos y la calidad de esta operación depende de dos factores, la temperatura del horno y la composición de la atmosfera reductora.

Posteriormente se enfría la chapa y, sin volver a entrar en contacto con el aire, se introduce en el baño de zinc bajo atmosfera gaseosa protectora a una temperatura de unos 500°C.



2.2.7. Descripción del proceso de galvanizado en caliente.

Este proceso se realiza principalmente en talleres de servicio de acabado.

Consiste fundamentalmente en el recubrimiento de piezas de hierro o acero con una película de zinc, pero a diferencia del proceso de zincado electrolítico, no se emplea corriente eléctrica, sino que la pieza se sumerge en una cuba llena de zinc fundido.

El proceso de galvanizado consta de tres etapas básicamente que son:

- ❖ Preparación de la superficie.
- ❖ Galvanizado.
- ❖ Inspección.

2.2.8 Preparación de la superficie.

Esta es la etapa de más importancia ya que cuando el recubrimiento falla con anterioridad al término de su esperada vida útil se debe a una inadecuada preparación de la superficie, esta etapa se puede subdividir en:

Limpiador alcalino, o desengrase

Bañado o agua caliente

Decapado o baño de ácido

Bañado o agua fría

Solución flux o fundente

Secado

2.2.9 Desengrase alcalino.

En general en esta etapa se requiere que la superficie del metal base esté sustancialmente libre de grasas y aceites, que pueden provenir de algún proceso como el de maquinado, o escamas y manchas resultantes de tratamientos químicos, soldadura o pinturas. A fin de lograr un buen recubrimiento deberán eliminarse todas las suciedades o impurezas perjudiciales; de lo contrario, se obtendrán recubrimientos que no son adherentes. Además, se debe evitar que la materia grasa contamine las soluciones posteriores. En la mayoría de los casos, se emplean soluciones limpiadoras alcalinas ligeramente básicas (ph 10.5 a 12). La materia alcalina más usada es la soda cáustica en una proporción de 1 kg, de soda por 12 litros de agua y a una temperatura de 85°C aproximadamente.

En el caso de piezas mecánicas en que los aceites son sulfonados es conveniente utilizar soluciones acuosas de hidróxido de sodio o algún detergente en solución acuosa.



2.2.10 Bañado (agua caliente).

Aquí la pieza pasa por agua caliente entre 80 a 90°C, tiene por objeto despojarla de todo vestigio alcalino, proveniente de la acción limpiadora anterior. Un enjuague deficiente anulará el objeto de cada uno de los otros pasos en el ciclo de recubrimiento. Esto causara piezas manchadas, desprendimiento de película protectora y soluciones contaminadas.

2.2.11 Decapado.

Durante la fabricación de piezas metálicas se producen de óxido que deben ser eliminados como parte importante de los procedimientos de acabado de los metales. Este procedimiento se efectúa por inmersión de las piezas metálicas en soluciones ácidas. La mayoría de las operaciones de decapado consisten simplemente en la disolución de las capas de óxido en el ácido.

Para el acero se aplican las siguientes reacciones:



El hidrogeno puede ser proporcionado por la reacción del ácido con el acero:



Estas reacciones son en general aceleradas por un aumento en la concentración del ácido, temperatura, o agitación y disminuyen en velocidad según la solución se vuelve más concentrada en el metal que se disuelve.

Cuando la capa de óxido es uniforme y todas las superficies han estado igualmente expuesta al ácido, el trabajo puede ser extraído tan pronto esté libre de la capa de oxido, evitando de este modo cualquier ataque serio al metal. Cuando la acción decapadora no es pareja, debido a que la capa de Óxido no es uniforme o por otros factores, con frecuencia hay exceso de ataque en algún área. Esto produce una superficie extremadamente áspera e inutiliza el trabajo para muchas aplicaciones. Para evitar esto se le agregan al baño decapado inhibidores para reducir el grado de ataque en el metal.

Para el caso de decapado con ácido sulfúrico la concentración de ácido y la temperatura por seleccionar están relacionadas con el factor económico. El rendimiento óptimo de decapado se considera empleando una concentración de un 7% a 9%, una temperatura entre 60 a 80 °C, de esta forma se minimiza el



sobrecapado. Durante el proceso la concentración de ácido disminuye gradualmente a medida que el contenido de sales de hierro aumenta. En un baño de ácido sulfúrico que posea una concentración de sales de un 12%, tenemos una acción decapadora que disminuye alrededor de un 90%.

Para el decapado con ácido clorhídrico, el cual es usado en menor proporción que el ácido sulfúrico debido a que es más costoso y produce el desprendimiento de vapores tóxicos, este es usado en muchos establecimientos pues proporciona una buena velocidad de decapado a temperatura ambiente.

La acción del ácido clorhídrico aumenta a medida que sube la concentración de sales de hierro disueltas en él. Un baño de ácido clorhídrico con un contenido de 16% de hierro, tiene una velocidad de decapado 4 veces mayor que su valor original. La actividad del baño de decapado va disminuyendo al aumentar su concentración en hierro, por lo que es necesario realizar adiciones periódicas de ácido para mantenerla. Asimismo, será necesario reponer las pérdidas producidas tanto por evaporación como por arrastre de las piezas, compensándose estas pérdidas mediante la adición de agua. Este sistema puede mantenerse así hasta que se alcanza el límite de solubilidad del cloruro ferroso (FeCl_2) en el propio ácido clorhídrico, por lo que una vez que se ha llegado a este límite ya no será posible seguir decapando. Igualmente, si el contenido de hierro de la solución de decapado es superior a los 140-150 g/l, el baño de decapado estará agotado, siendo necesaria su renovación.

En todo decapado, la agitación de la solución ácida es ventajosa, ya que aumenta la acción del ácido y la mantiene uniformemente sobre la superficie de trabajo.

2.2.12 Bañado (agua fría).

En esta etapa se produce una disolución completa del ácido y las sales de óxido de hierro producidas en la etapa de decapado mediante la inmersión de la pieza en un baño que comúnmente es de agua fría.

2.2.13 Fluxado o Baño de Fundente.

Etapa final de la preparación de superficie, aun la pieza se somete a un baño de sal flux en la que se eliminan óxidos y previene contra la formación de otros óxidos en la superficie del metal antes del galvanizado propiamente tal.

Los fundentes aceleran la fusión de los metales, es decir que la combinación entre hierro y zinc sea más rápida, y estos se pueden clasificar en:



2.2.14 Fundentes Líquidos. Entre estos encontramos:

- **Ácido clorhídrico:** Es el más usado por sus propiedades favorables.
- **Cloruro de Amonio:** Llamado comúnmente como sal de amoniaco, proviene de las soluciones crudas de amoniaco, resultantes de los sus productos de fabricación de cobre.

- **Cloruro de Amonio - Zinc:** Este cloruro, debe su nombre a una sal doble de cloruro de amonio y cloruro de zinc. El uso de esta sal, como fundente no es satisfactoria, ya que absorbe agua rápidamente y va en desmedro de su constituyente principal, que es el cloruro de amonio. Cuando este esta en solución acuosa y aparecen cristales, es porque ha alcanzado su concentración y temperatura adecuada.

- **Cloruro de Zinc:** Este puede ser aprovechado en su estado sólido granular, liquido o bien una solución acuosa de sal. En su forma sólida es de apariencia blanca pero pequeños vestigios de hierro dan tonalidades verdes o pardas.

Normalmente suelen utilizarse flux a base de cloruro de zinc ($ZnCl_2$) y cloruro de amonio (NH_4Cl), con una proporción del 60% de $ZnCl_2$ y el 40% de NH_4Cl , siendo el contenido en sales de estos baños de unos 400 g/l.

La presencia de NH_4Cl provoca la formación de humo al sumergir las piezas en el baño potásico para disminuir la producción de humo.

El efecto decapante del flux que contiene cloruro de amonio es debido a la liberación de ácido clorhídrico en el baño de zinc, dicha liberación tiene lugar de manera creciente al descomponerse el cloruro de amonio a temperaturas superiores a los $200^\circ C$. Este efecto decapante se acentúa más entre $250-300^\circ C$, dependiendo de la composición del flux.

Se utilizan principalmente tres métodos de Fluxado:

- **Proceso seco antiguo:** Las sales procedentes de un decapado de ácido clorhídrico se secan y actúan como flux. Se deja la pieza secar por encima del baño de decapado antes de llevarlo a la cuba de inmersión de zinc fundido. Este proceso solo puede utilizarse en caso de que el baño de decapado sea de ácido clorhídrico.

- **Proceso Seco:** Después del decapado hay una etapa d lavado con agua corriente, se sumerge la pieza en el baño de fluxado y posteriormente se seca antes de su inmersión en el baño de galvanizado. Es importante observar que una parte significativa del proceso de fluxado (limpieza) tiene lugar durante el secado, por



consiguiente debe tenerse cuidado para asegurar que se lleva a cabo de forma eficiente. La cantidad de flux depositada sobre la superficie de las piezas depende de la concentración del baño de fluxado y la eficiencia de la limpieza depende fundamentalmente del tiempo de secado y la temperatura.

- **Proceso húmedo:** La pieza se lleva directamente de la cuba de lavado al baño de galvanizado en el que hay una capa flotante de flux fundido sobre el zinc. Este proceso puede modificarse de forma que se pase la pieza primero por un pre-fluxado, como en el proceso seco. La pieza limpia y decapada se hace pasar a través de una capa de flux e inmediatamente se sumerge en el zinc sin necesidad de secado. Cuando se extrae la pieza el flux elimina el exceso de zinc de ésta, permitiendo una mayor velocidad de extracción y por lo tanto la velocidad de producción será mayor. Sin embargo, si se utiliza este método es necesario enfriar las piezas para eliminar cualquier traza de sales de fluxado.

La elección del proceso de fluxado varía según el tipo de piezas, pero no afecta al espesor y a la protección del recubrimiento final.

Por lo general, las empresas realizan el denominado proceso en seco, es decir, disponen de un baño de fluxado separado. Este tipo de proceso es el que menos emisiones produce cuando se introducen las piezas en el baño de zinc fundido.

El baño de fluxado suele mantenerse, según los procesos, dentro de un rango de temperatura entre 25 y 70°C. Asimismo, el ph del baño debe ajustarse en torno a un valor de 4-5 (el valor recomendado suele ser 4.5), para que, por una parte, los iones de hierro arrastrados de etapas anteriores puedan precipitarse como hidróxido de hierro; mientras que por otra parte, debe mantenerse el poder decapante del baño de fluxado. De esta forma se descarta prácticamente la posibilidad de que se arrastren iones de hierro al baño de zinc fundido, evitándose la formación de matas de zinc, producto no deseado.

2.2.15 Secado.

La etapa posterior al baño de fluxado consiste en un secado de las piezas. De esta forma se minimizan las salpicaduras de zinc que se producen por la inmediata evaporación del agua que las piezas pueden tener adherida, al introducir estas en el baño de zinc fundido, a una temperatura de alrededor de 450°C.

Sería posible el aprovechamiento del calor que se pierde en la calefacción del baño de zinc para calentar estas piezas.



2.2.16 Baño de zinc fundido.

Un adecuado desengrase, decapado y fluxado permite que el zinc fundido reaccione químicamente con la superficie de acero de una pieza sumergida, produciendo capas de Fe-Zn de composición y espesor variable y la interfase. Si la reacción ha sido controlada adecuadamente, la parte externa de la superficie de la pieza tendrá la misma composición que la del baño de zinc. El recubrimiento se une metalúrgicamente al metal base.

La temperatura normal de galvanizado es de 445-465°C, siendo al comienzo la velocidad de reacción muy rápida. El espesor principal del recubrimiento se forma durante este periodo inicial por lo que suele ser difícil el obtener una capa fina de recubrimiento. Posteriormente, la reacción se ralentiza y el espesor del recubrimiento no aumenta en gran medida.

El tiempo de inmersión suele ser de uno o dos minutos.

La velocidad de extracción de la pieza debe ser lenta, de lo contrario pueden producirse gotas y grumos en el recubrimiento. Velocidades muy lentas de extracción permiten que el zinc no aleado que queda sobre la superficie reaccione con el sustrato de acero y se formen más compuestos Fe-Zn.

De la misma forma, la velocidad de inmersión debe ser lo más rápida posible sin que se ocasionen salpicaduras, con objeto de exponer al mismo tiempo toda la pieza y darle un espesor uniforme.

Antes de la introducción de las piezas en el baño de zinc, así como antes de extraerlas, es necesario eliminar con rasquetas la capa de óxido de zinc que se forma sobre la superficie del baño (ceniza de zinc), para evitar su deposición sobre las piezas y que se produzcan galvanizados defectuosos.

Para eliminar el zinc sobrante tras el galvanizado, las piezas pequeñas (tornillos, escarpias, etc.) se sacuden o centrifugan en tambores o cestos; mientras que para las piezas grandes el zinc sobrante se extrae mediante "rascadores" o por vibración.

La temperatura de las paredes del baño no debe superar los 480-490°C, ya que se produciría el ataque del zinc líquido a las paredes de hierro del baño, produciéndose grandes cantidades de matas de zinc, reduciéndose además mucho la duración del recipiente en el que tiene lugar el galvanizado.



El tamaño del tanque de galvanizado va a depender del tipo, tamaño y número de piezas a galvanizar, siendo su geometría tal que la exposición de zinc fundido a la atmosfera sea la mínima posible.

La pureza del zinc utilizado en el baño de galvanizado no es crítica. Debe tenerse cuidado si se utiliza zinc refundido, ya que el contenido en hierro puede ser excesivamente alto, dando lugar a unas eficiencias menores en el proceso de recubrimiento, formándose grandes cantidades de las denominadas matas de zinc que probablemente afectaran a las paredes del baño.

Así mismo, no se obtiene ningún beneficio si se utiliza zinc de alta pureza ya que se acelerara el ataque del zinc a las paredes, reduciendo la vida útil del recipiente.

Las piezas pequeñas se galvanizan a temperaturas superiores, alrededor de 530-550°C. En este caso esta mayor temperatura es necesaria debido a que este tipo de piezas requiere que los baños de galvanizado tengan una menor viscosidad.

Los baños para este proceso a mayor temperatura son cubetas cerámicas.

2.2.17 Enfriamiento.

Una vez realizado el proceso de galvanizado de la pieza, esta puede dejarse enfriar a temperatura ambiente, o ser enfriada en un baño con agua. Este último proceso sobre todo es esencial para evitar que se manche la superficie por los residuos del fluxado, sobre todo si la pieza se ha extraído a través de una capa de fluxado (proceso húmedo).

El enfriamiento con agua también se utiliza cuando se quiere enfriar rápidamente la pieza, para "congelar" el recubrimiento, es decir, evitar que las capas de aleación continúen creciendo sobre la superficie reactiva de acero una vez que la pieza ha sido extraída del baño.

Es de especial interés para piezas grandes de fundición que acumulan importantes cantidades de calor.

Estos baños de enfriamiento pueden utilizarse para la preparación de nuevos baños de decapado o desengrase, o para compensar las perdidas por arrastre o por evaporación.

2.2.18 Resumen de la secuencia de operación óptima.

A la hora de rediseñar una instalación de galvanizado en caliente se recomienda incluir, tal y como se ha descrito en los apartados anteriores, las siguientes



operaciones del proceso de zincado en caliente, de acuerdo a los requerimientos establecidos a continuación (ver figura 21).

- ❖ Recepción del Material
- ❖ Desengrase
- ❖ Lavado en agua
- ❖ Decapado
- ❖ Lavado
- ❖ Inmersión en Flux
- ❖ Secado
- ❖ Inmersión en Zinc fundido (galvanizado)
- ❖ Inspección y calibración

Este es considerado en la actualidad como la mejor operación disponible para el galvanizado de piezas con inmersión en caliente con baños de zinc.

Es muy empleado en micro y grandes empresas debido a los costos bajos de operación, teniendo resultados favorables de calidad en la inspección galvánica, cumpliendo con las normas INEN y ASTM de galvanizado.

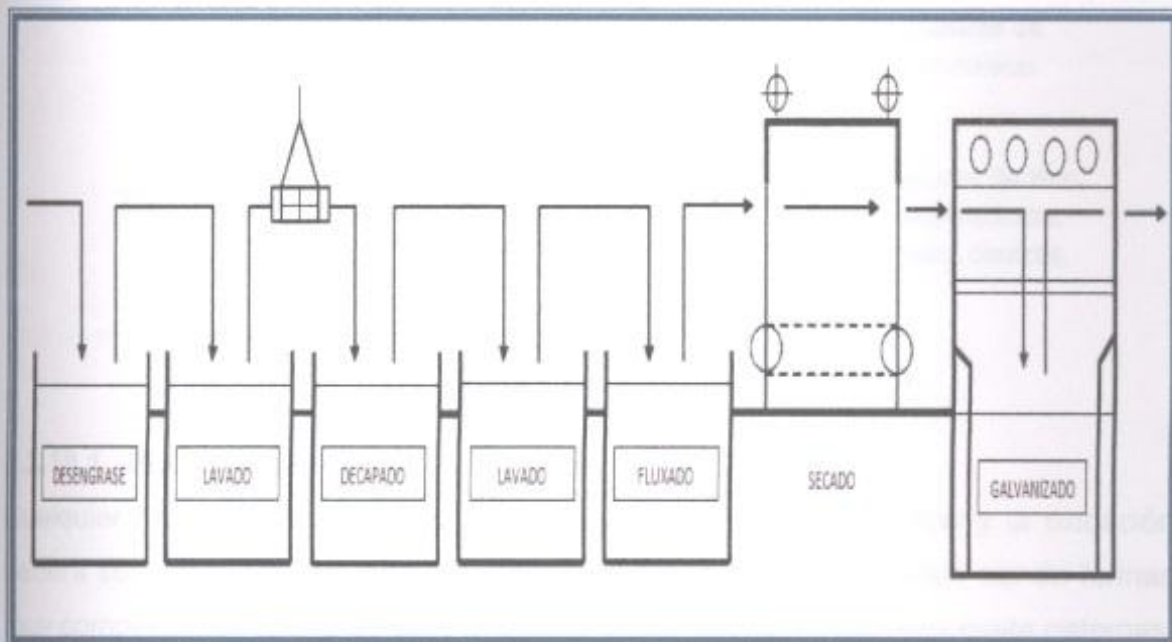
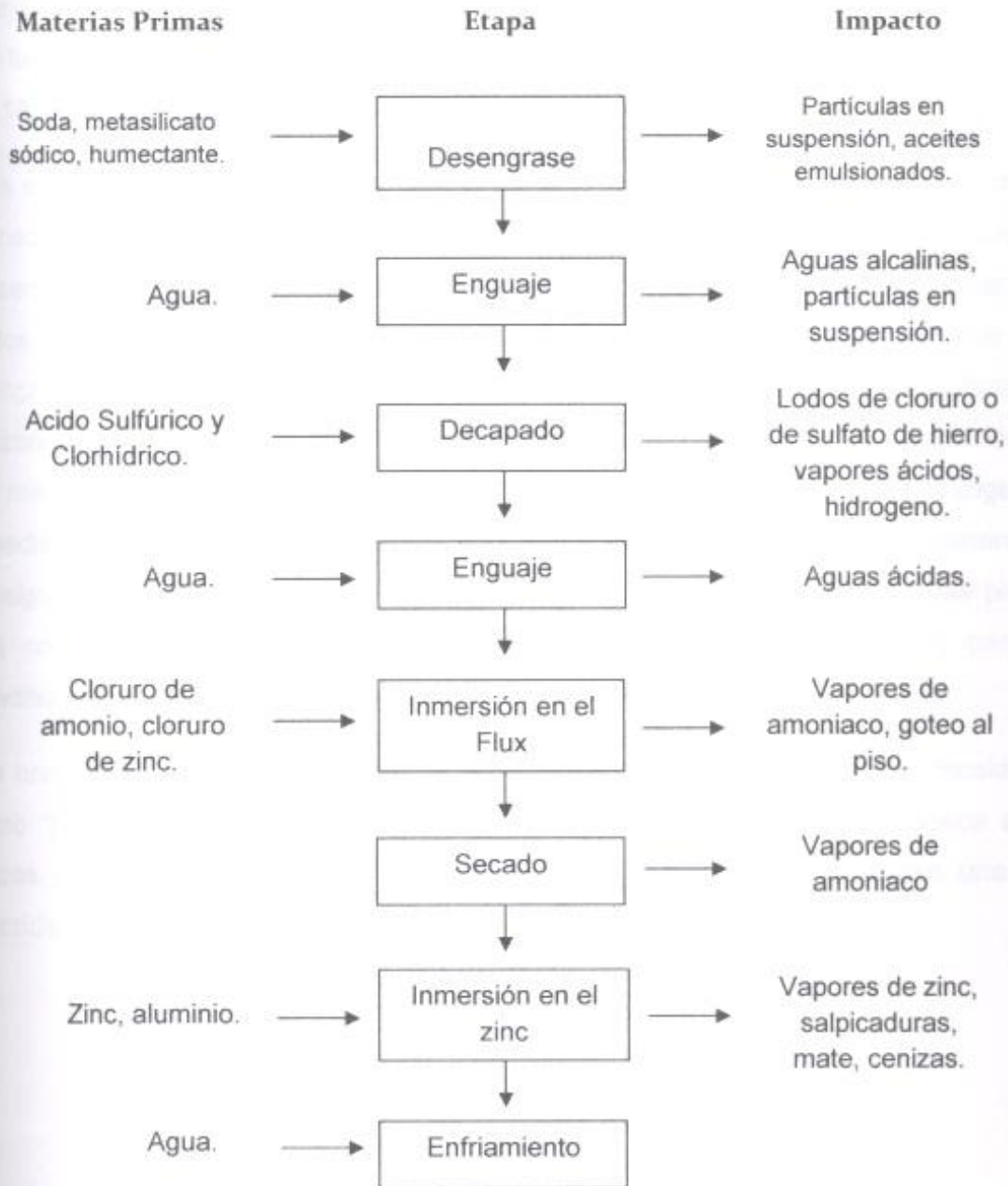


Figura 21. Secuencia de operación óptima referencial para procesos de galvanizado en caliente.

Cuadro 15. Etapas del proceso de galvanizado en caliente.



2.2.18.1 Piezas a galvanizar.

Cualquier material que necesite una protección contra la corrosión y la oxidación deberá ser galvanizado. El diseño de las piezas a galvanizar puede ser de formas muy complicadas y tamaños muy diversos; desde tornillos y herrajes hasta cisternas, pilares y estructuras de grandes dimensiones para la red eléctrica. La única limitación existente es el tamaño de las cubas o crisoles de galvanización.

En muchos casos en que las piezas superan alguna de las dimensiones de la cuba y no es posible su inmersión en él mismo de una sola vez, frecuentemente pueden



galvanizarse por doble inmersión o por inmersión parcial y rotación de la pieza sobre su eje. Las construcciones metálicas de gran tamaño se galvanizan por elementos, que luego se ensamblan con tornillos o por soldadura.

2.2.18.2 Piezas pequeñas.

Para el caso de las piezas pequeñas, estas pueden galvanizarse de acuerdo con el procedimiento de galvanización por inmersión en caliente. Sin embargo, estas piezas presentan dificultades de manejo en este tipo de instalaciones y la calidad superficial de los recubrimientos que se obtienen sobre las mismas suele ser muy variable y no siempre la adecuada. Por estas razones este tipo de piezas se suelen galvanizar utilizando una variante de dicho procedimiento, consistente en la galvanización de las mismas en cestas metálicas que se someten a un proceso de centrifugación inmediatamente después de su retirada del baño de zinc. De esta manera se consigue que el espesor y el aspecto superficial sea uniforme en todas las piezas que componen la carga. Este procedimiento se utiliza especialmente para la galvanización de clavos, tuercas, arandelas y tomillos.

Las normas no definen generalmente los tamaños de las piezas que se consideran como "piezas pequeñas" pero, en la práctica, esta denominación se aplica a las piezas que se galvanizan preferentemente en cestas y se centrifugan una vez extraídas del baño de galvanización.

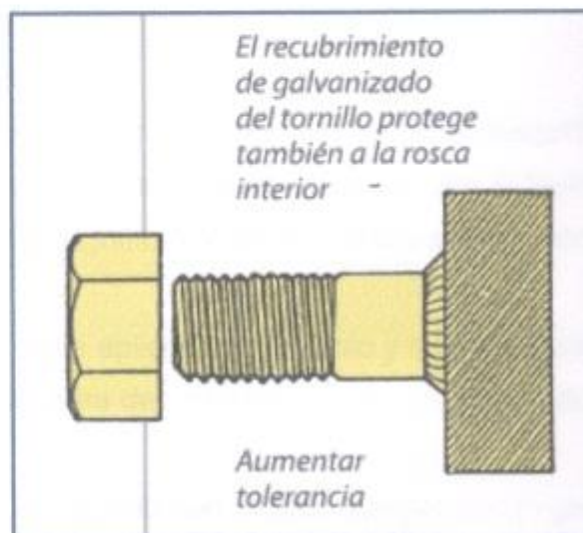


Figura 22. Normas de las tuercas y orificios roscados.



La norma UNE EN ISO 1461 contempla también recubrimientos galvanizados que se obtiene sobre estas piezas pequeñas, con o sin partes roscadas, especificando valores mínimos para su espesor medio que están comprendidos entre 25 y 55 micrómetros (μm) según sea el espesor del material base. Las piezas de este tipo deben fabricarse con acero adecuado para galvanización y su forma debe ser también apropiada para las características del proceso. Así, por ejemplo, no son adecuadas para este procedimiento las piezas en forma de cápsulas o codos tubulares y, en general, todas aquellas que tengan orificios ciegos o zonas cóncavas en las que pueda quedar retenido el zinc.

La centrifugación elimina casi por completo la capa de zinc puro del recubrimiento (capa η_2), razón por la cual la pieza centrifugada tiene recubrimientos galvanizados más delgados que las que no se centrifugan. Por este mismo motivo el aspecto de estas piezas no es plateado brillante, como el de la mayoría de los artículos galvanizados en discontinuo, sino que es gris más o menos oscuro. Esta diferencia de aspecto es puramente estética y no afecta a la calidad de su protección frente a la corrosión.

2.2.19 Glosario de términos.

❖ ASTM.

American Society for Testing and Materials, es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América.

❖ Acero al Carbono.

Grado de acero que contiene únicamente una cantidad insignificante de elementos distintos del carbono, silicio, manganeso, cobre, azufre o fósforo, es decir que no contiene ninguna cantidad significativa de elementos de aleación.

❖ Anodizado.

Es un proceso generalmente aplicado al aluminio y sus aleaciones para producir una capa de óxido adherente, para dar resistencia a la corrosión o dureza a la superficie.

❖ Ánodo.

Electrodo que se halla conectado con el polo positivo de un generador de corriente eléctrica y por el cual penetra esta en un circuito.



❖ **Cenizas.**

También denominadas tierras. Un subproducto sólido que se forma en la superficie del baño de zinc como resultado de la reacción del zinc con el aire. Se retiran periódicamente de la superficie y se reciclan.

❖ **Decapado.**

Tratamiento químico a través del cual se le retira la calamina o cascarilla al material laminado en caliente con el fin de prepararlo para ser laminado en frío. Para este proceso es comúnmente utilizado el Acido Clorhídrico HCL.

❖ **Desengrasado.**

Una forma de limpieza que generalmente usa solventes clorados. Por lo tanto es una forma de destilación continua.

Cuando cualquier componente frío se coloca en el contenedor, el vapor inmediatamente se condensa en la superficie. El solvente disuelve cualquier grasa en la superficie y como el solvente se condensará posteriormente, se resbalará de la pieza de trabajo trayendo el material soluble dentro del recipiente.

❖ **Enfriamiento rápido.**

Inmersión en agua de los artículos de acero inmediatamente después de su extracción del baño de zinc. Esto permite el manejo inmediato de los materiales galvanizados.

❖ **Flux.**

También llamado mordiente Disolución acuosa de sales que produce una limpieza final de la superficie del acero antes de su galvanización y que favorece que el zinc fundido pueda "mojar" la superficie del acero cuando éste se sumerge en el baño de galvanización.

❖ **Fundente.**

Material que ayuda a reducir los óxidos para formar la escoria. En el proceso del alto horno, la caliza es utilizada como fundente para formar la escoria (CaO y A1203).

❖ **Galvanizado.**

Es una técnica para protección contra la corrosión que se aplica solo a aceros suaves, hierro fundido y aleaciones de acero en donde las piezas de trabajo son sumergidas en zinc líquido a una temperatura de 500°C. Se forma en la superficie de la pieza de trabajo una aleación de zinc-hierro dándole a la pieza una capa adherente de zinc.



Antes del galvanizado, la superficie del metal debe encontrarse en un estado moderado de limpieza. Esto se cumple generalmente por la limpieza ácida o blasteado ligero.

Las capas galvanizadas son de aproximadamente 0.005 pulgadas de grosor y pueden dar una protección por 10 o 20 años.

❖ **Galvanización en frío.**

Definición moderna para indicar un sistema de protección de superficies metálicas (hierro - acero) mediante la aplicación de pinturas especiales conteniendo un elevado porcentaje de polvo de zinc.

❖ **Limpieza ácida.**

Es un tratamiento químico que remueve óxido y escamas de la superficie de un metal. Se refiere generalmente al uso de ácido sulfúrico o clorhídrico para remover el herrumbre formado en aceros suaves bajos en aleaciones durante las operaciones calientes de formado.

Los tratamientos del acero inoxidable o aleaciones con alta concentración de níquel son hechos con ácido hidrofúrico, un material particularmente peligroso que debe ser manejado con extremo cuidado.

❖ **Limpieza con solventes.**

La limpieza por solventes normalmente usa hidrocarburos dorados, espíritus metalados o alcoholes de metilo. La limpieza con tetra cloruro de carbono, benceno, tolueno, xileno y otros no debe ser permitida por los peligros a la salud que estas sustancias poseen.

Las piezas de trabajo son limpiadas con una tela humedecida con solvente o sumergidas en un solvente líquido para remover los materiales solubles.

❖ **Matas.**

Subproducto sólido de la reacción entre el hierro y el zinc fundido. Las matas contienen aproximadamente un 96% de zinc y un 4% de hierro. Se extraen periódicamente del fondo del baño de zinc y se reciclan.

❖ **Norma UNE en ISO 1461.**

Es la norma aplicable a los recubrimientos que se obtienen en las instalaciones discontinuas de galvanización en caliente (conocidas también como instalaciones de galvanización general) sobre piezas y artículos diversos fabricados con materiales



férreos (hierro, acero, fundición, etc.). Esta norma sustituye a la norma UNE 37-508-88.

En la norma se define la galvanización en caliente como la "formación de un recubrimiento de zinc y/o de aleación(es) de zinc-hierro sobre productos de hierro y acero mediante inmersión de estos productos en un baño de zinc fundido, previa preparación adecuada de la superficie de los mismos".

❖ PH.

Índice numérico para expresar el grado de acidez o de alcalinidad de las disoluciones.

❖ Recubrimiento con zinc.

Esta es una forma muy común de recubrimiento que se usa para proporcionar resistencia a la corrosión para aceros, hay tres tipos de soluciones de recubrimiento más usadas, dos de las cuales emplean cianuro.

En la primera, una solución de cianuro, típicamente contiene zinc (30 g/l), cianuro de sodio (5 g/l) y sosa cáustica (25 g/l).

La segunda solución es una solución baja en cianuro. Contiene típicamente zinc (8 g/l), cianuro de sodio (8 g/l) y sosa cáustica (65 g/l). La tercera es una solución de zinc ácida que contiene zinc (30 g/l), cloruro de sodio (25 g/l) y ácido bórico (15 g/l).

❖ Recubrimiento no electrolítico.

Cuando un metal se sumerge en una solución de otro metal con un potencial electrodo más elevado, el metal disuelto desplazará el metal de potencial más bajo de la superficie de la pieza de trabajo.

El proceso mejor conocido de recubrimiento no electrolítico ocurre cuando el acero se coloca en una solución de sulfato de cobre. El cobre se recubre sin la aplicación de una corriente eléctrica externa.

❖ Dross o mate.

El dross o mate es una aleación estable de fierro y zinc de aspecto arenoso e insoluble a las temperaturas del proceso. Sus fuentes de generación son cuatro:

- ✓ Las piezas procesadas.
- ✓ El crisol de galvanización.
- ✓ Ganchos y canastillos de proceso.
- ✓ Uso de zinc reciclado o de segunda función.



❖ **Recubrimiento por inmersión.**

Es una técnica de recubrimiento similar al recubrimiento no electrolítico donde un metal más electropositivo disuelto en un electrolito, es colocado sobre la superficie de una pieza de trabajo de metal menos electronegativa.

El término recubrimiento por inmersión es usado donde se logra el depósito y entonces el proceso de recubrimiento se detiene automáticamente.

Esto lo distingue del recubrimiento no electrolítico donde la deposición del metal que se va a colocar se continúa depositando siempre y cuando la pieza de trabajo permanezca en la solución.

❖ **Importancia del Proceso de Galvanizado en Caliente.**

Debido a que nos encontramos en un medio abrasivo de corrosión, en lucha contra la misma, nace nuestro interés en profundizarnos con el tema, buscando una solución o por lo menos acercarnos al entendimiento de porque los metales se corroen con gran facilidad.

❖ **Gross.**

De volumen o espesor superior a lo habitual, cambio en sus dimensiones debido a una película protectora.

❖ **Termocupla.**

Una termocupla es un sensor formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje, que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

En instrumentación industrial, las termocuplas son ampliamente usadas como sensores de temperatura. Son económicas, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas.

2.3 HIPÓTESIS Y VARIABLES.

2.3.1 Hipótesis General.

Pensando en el éxito pedagógico de la Universidad Estatal de Milagro y en el estilo de aprendizaje y beneficio para los estudiantes de la asignatura de Corrosión de Ingeniería Industrial, Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería, se ha procederá con el diseño y construcción de un Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de Zinc, detallando significativamente cada uno de los diferentes



procesos, logrando en los estudiantes un mejor entendimiento del tema, de la materia de corrosión y los afines que se involucran.

2.3.2 Hipótesis particulares.

La galvanización en caliente es un tema que se ha vuelto un bien necesario para la protección de los metales alargando su vida útil, siendo una opción más de estudio en la Universidad Estatal de Milagro, en términos de laboratorios operativos de investigación científica enfocados en el recubrimiento y adherencia positiva del zincado con la finalidad de contrarrestar la corrosión, sin importar el medio donde son expuestos, ya que millones de moléculas de agua se esparcen por todo medio, tomando el nombre técnico de medio abrasivo.

Los metales al ambiente son vulnerables y pasivos ante el poder destructivo de la corrosión, sus propiedades químicas son alteradas, manifestándose con efectos irreversibles en las dimensiones que tiene originalmente una pieza expuesta a la corrosión.

En una lucha imparables contra este mal inevitable (la corrosión) en la actualidad hay varios métodos de protección para los metales, por ejemplo el proceso electrolítico, proceso de pinturas electrostáticas, el zincado, entre otras. En este caso el zincado que es el proceso a utilizar en este proyecto consiste en revestir al acero con un baño de zinc fundido por inmersión en caliente, consiguiendo alargar la vida útil del acero, de un estado normal de 5 años a un aproximado entre 40 a 50 años dependiendo de la calidad y espesor del recubrimiento, cumpliendo además con normas y estándares de calidad (INEN ó ASTM), de dando lugar a la superación y emprendimiento de microempresarios, mejorando así su calidad de vida.

2.3.3 Declaración de Variables.

En la actualidad existen varios métodos o procesos de protección de los metales contra la corrosión, cada proceso tiene una metodología diferente de recubrimiento, de acuerdo a la utilización y al medio ambiente donde sea expuesto, en nuestro caso la inmersión en zinc fundido es común a todos los procesos de galvanización por inmersión en caliente.

Es la actividad más importante del proceso. Todo lo ejecutado con anterioridad tiene el propósito de que esta etapa resulte exitosa.



Dependiendo del tipo de proceso y del tipo de crisol el rango de temperaturas del zinc fundido para llevar adelante el proceso varía entre los 450°C y los 490°C.

Las técnicas de trabajo en el crisol de galvanización varían para los distintos procesos y elementos específicos a galvanizar, pero en todos los casos la explotación debe estar orientada a lo siguiente:

- ❖ Desarrollar el proceso en condiciones adecuadas de seguridad tanto para personas como para instalaciones.
- ❖ Conseguir revestimientos homogéneos dentro de los estándares deseados.
- ❖ Conseguir espesores adecuados de revestimiento según los estándares requeridos.
- ❖ Optimizar el consumo de zinc.
- ❖ Explotar intensivamente el crisol de galvanización
- ❖ Desarrollar un ritmo de explotación que garantice la continuidad operativa cuidando adecuadamente el crisol y el horno de galvanización.

Cuadro 16. Variables Dependientes.

Dependientes	Indicadores
La falta de presupuestos para el equipamiento de un laboratorio de corrosión.	Efectividad en los procesos de recubrimientos del acero.
La contaminación y el ambiente de trabajo donde se procese el galvanizado.	Efectividad Global, costos por derramamiento de ácidos que se utilizan en el proceso.
Falta de estudios en avances tecnológicos e investigaciones científicas para el recubrimiento	Costos de recubrimiento por inmersión en zinc, de acuerdo al espesor solicitado.
El efecto positivo del proyecto hacia los estudiantes, dependiendo de la utilización que la Universidad le de a la misma.	Toma de diámetro y peso de las piezas que se van a galvanizar, comprobando al final los nuevos resultados.
La falta de concentración en uno de los procesos previo al galvanizado. Recubrimiento de pésima calidad que no cumplen las especificaciones y necesidades del solicitante.	Forma y calidad de galvanizado del acero en la inspección de calidad, antes de su previa entrega. Resultados favorables.



Cuadro 17. Variables independientes.

Independientes	Indicadores
Incide en el diseño y construcción del proceso de galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc.	Tiempo de proceso en la que se ejecuta toda la inmersión de zinc.
Efecto que produce el medio ambiente abrasivo en los metales.	Moléculas de agua que interactúan con el metal, provocando la corrosión,
Conlleva a que el acero tenga menos tiempo de vida útil, por exponerse al ambiente en estado normal.	La inversión cuantiosa al no tomar las medidas de protección y recubrimientos del acero.
Genera la pérdida de rendimiento en todo en toda estructura metálica.	El uso de aceros no recubiertos, de acuerdo a su utilización.
Conlleva a la descomposición de sus propiedades físicas.	El impacto ambiental producida por una mala galvanización.

2.3.4 Operacionalización de las Variables.

En galvanización general el control del espesor de revestimiento está dado por la velocidad de salida de los elementos del baño y por el ángulo adecuado para el drenaje de las piezas.

Existen también dispositivos mecánicos que se instalan en los procesos con que se realiza la inmersión que a través de vibración o centrifugación inducen la caída rápida del zinc que aún escurre cuando las piezas son retiradas del crisol.

Buenas prácticas en el proceso de inmersión en zinc en galvanización general mencionamos a continuación:

- ❖ Remueva la capa de óxido de zinc que se encuentra en la superficie del zinc fundido.
- ❖ Realizar la inmersión en el zinc fundido tan rápido como sea posible y evitando la proyección de partículas desde el horno.
- ❖ Deje las piezas en el baño de zinc hasta que tomen la temperatura de equilibrio y no se aprecie turbulencias ni burbujas en la superficie.
- ❖ Remueva nuevamente la película que se ha formado en la superficie del baño.



- ❖ Retire lentamente el material desde el baño de zinc.
- ❖ Mantenga las piezas sobre el baño en un ángulo adecuado para que el zinc líquido escurra desde las piezas y retorne al crisol
- ❖ Remueva todas aquellas gotas que al solidificar se convertirán en verdaderas púas, peligrosas para la manipulación.
- ❖ Desplace las piezas al estanque de enfriamiento, de pasivación o simplemente deje enfriar al aire en zonas debidamente señalizadas.



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación y su perspectiva general.

En términos generales, el Proceso de Galvanizado en Caliente con recubrimiento de zinc se trata de una investigación con enfoque cuantitativo y cualitativo, en el que se ha seleccionado costos de galvanizado y calidad de productos terminados, que tratará de establecer con varias prácticas y auditoría la situación actual del enfoque que dará este proyecto a la Universidad y a los estudiantes mismos, con el objetivo de proteger los metales contra la corrosión.

A partir de este punto se sustenta con claridad las hipótesis y variables, que para ser probadas se deberán desarrollar los diferentes procesos de limpieza del material antes del galvanizado, en los que se analizan las mediciones de tiempo en cada proceso con el propósito de establecer una serie de conclusiones respecto a las hipótesis.

En el proyecto se describe el proceso físico químico del galvanizado en caliente en sus diversas etapas y modalidades y expone las propiedades y ventajas de este sistema de protección de reconocida eficacia, disponible en nuestro medio pero no muy aplicado, aun así son de alta calidad con mercados competitivos frente a otros recubrimientos.

3.1.1 El propósito

La investigación científica desarrollada, es una mezcla de investigación básica y aplicada porque se involucra aspectos teóricos como prácticos en el plan estratégico de galvanizado.



Interesados por contribuir con las enseñanzas de la Universidad Estatal de Milagro, en términos de la asignatura de corrosión de la carrera de Ingeniería Industrial, es la dedicación propuesta en este tema de investigación, reforzando los conocimientos adquiridos en corrosión, referente a la protección de los metales ante la imparable agresividad del ambiente, con su poder destructivo de desintegración homogénea de las propiedades fisicoquímicas del acero.

3.2 TOMA DE MUESTRA.

3.2.1 Características de las muestras.

De cada lote para inspección se debe tomar al azar, una muestra de control para ensayar el peso y el diámetro de la pieza antes y después de galvanizar. El número mínimo de piezas a tomar de cada lote está indicado en la cuadro 18.

Cuadro 18. Ejemplos referenciales del tamaño de la muestra del control en relación con el tamaño del lote realizado por Galvano.

Número piezas en el lote para inspección	Número mínimo de piezas en la muestra control
1 a 3	Todas
4 a 10	4
11 a 20	6
21 a 30	8
31 a 40	9
41 a 50	11

La inspección de aceptación debe efectuarse antes de que los productos salgan de la planta de galvanización, salvo especificación distinta en el momento de hacer el pedido por el cliente.

3.2.2 Delimitación y tamaño de la Muestra.

Las piezas que procederemos a galvanizar, han pasado por un proceso de selección, referente a su tamaño, considerando que el proceso es solo para piezas pequeñas tomando como referencia las medidas de la cuba del galvanizado, que aproximadamente tiene una capacidad para 3 kilos de acero, definiéndolo con el siguiente rango.

$$2,5 \leq X \leq 3,5$$

donde:

X = capacidad de la cuba de galvanizado.



Cuadro 19. Evaluación referencial de la cuba de Galvanizado referente a varios procesos según la capacidad.

N° de pruebas.	N° de piezas en el proceso.	Peso de cuba X = Kg.	Calidad del galvanizado.	Tiempo para un buen recubrimiento.
1	3	0,40	excelente	0,55
2	5	0,67	excelente	0,916
3	10	1,33	excelente	1,83
4	15	2	Muy bueno	2,75
5	20	2,67	bueno	3,66
6	25	3,33	regular	4,583

3.3 LOS MÉTODOS Y LAS TÉCNICAS.

3.3.1 Propiedades del recubrimiento.

a.) **Aspecto:** En la inspección de aceptación, la(s) superficie(s) significativa(s) de toda(s) la(s) pieza(s) galvanizada(s) por inmersión en caliente examinada(s) con visión normal corregida, debe(n) estar exenta(s) de ampollas (es decir, protuberancias, sin metal sólido en su interior), rugosidades y puntos punzantes (que puedan causar daño durante su manejo) y de zonas no recubiertas.

❖ "Rugosidad" y aspecto liso son términos relativos. La rugosidad de los recubrimientos que se obtienen sobre las piezas galvanizadas después de su fabricación no es la misma que la de los productos escurridos mecánicamente tales como las placas y los alambres galvanizados.

La presencia de zonas grises más o menos oscuras (por ejemplo, zonas grises oscuras de aspecto celular) o una cierta irregularidad superficial no deben constituir causa de rechazo. Igualmente, las manchas de almacenamiento húmedo (productos de corrosión blancos o de color oscuro, constituidos principalmente por óxidos básicos de zinc, que se forman durante el almacenamiento en condiciones de humedad después de la galvanización por inmersión en caliente) no deben constituir causa de rechazo a condición de que el espesor del recubrimiento subyacente permanezca por encima del valor mínimo especificado.

No es posible establecer una definición del aspecto y del acabado que tenga en cuenta todos los requisitos prácticos.



❖ No deben ser admisibles los residuos de sales de flujo. No se deben permitir los grumos y cenizas de zinc que puedan afectar la utilización final de la pieza galvanizada o a los requisitos en cuanto a su resistencia a la corrosión.

Las piezas que sean rechazadas en la inspección visual deben reacondicionarse conforme al inciso de esta norma o galvanizarse de nuevo y someterse después a una nueva inspección.

b.) Espesor: Los recubrimientos aplicados mediante galvanización por inmersión en caliente tienen por finalidad proteger los productos de hierro y acero contra la corrosión. La duración de la protección a la corrosión que proporcionan estos recubrimientos (independientemente de que su color sea gris claro o gris oscuro) es aproximadamente proporcional a su espesor. Para condiciones extraordinariamente agresivas y/o duraciones en servicio excepcionalmente prolongadas, pueden ser necesarios recubrimientos de mayor espesor que los especificados en esta norma.

La especificación de estos recubrimientos más gruesos debe ser objeto de un acuerdo entre el galvanizador y el cliente en lo que concierne a los medios de implementación (por ejemplo: granallado o composición química del acero).

3.3.2 Métodos de ensayo.

En caso de discrepancia sobre el método de ensayo, el método para calcular el espesor del recubrimiento debe ser la determinación de la masa media del recubrimiento galvanizado por unidad de superficie utilizando el método gravimétrico, el cual contempla la densidad nominal del recubrimiento (7,2 g/cm³).

Cuando se trate de un número de piezas inferior a 10, el cliente no debe estar obligado a aceptar el ensayo gravimétrico si ello supone la destrucción de piezas y costos de reparación inaceptables para el cliente.

❖ Los ensayos (véase apéndice D) se efectúan preferentemente por método magnético (véase apéndice E) o por el método gravimétrico (otros métodos alternativos posibles, por ejemplo, el método electromagnético, el método coulombimétrico o el de corte micrográfico).

a.) Áreas de referencias: Para los ensayos magnéticos o gravimétricos, el número y ubicación de las áreas de referencia así como el tamaño de las mismas deben seleccionarse en función de la forma y del tamaño de la(s) pieza(s), con objeto de obtener resultados lo más representativos posibles del espesor medio del recubrimiento o de la masa media del recubrimiento por unidad de superficie, según



los casos. En una pieza larga de la muestra de control, las áreas de referencia se deben tomar y/o cortar a una distancia de aproximadamente 100 mm de cada extremo y aproximadamente en el centro de la pieza y se debe incluir una sección transversal completa de la misma.

Descriptor: recubrimiento metálico, galvanización en caliente, recubrimiento en zinc, recubrimiento por inmersión en caliente, metal revestido, acero, hierro colado, definición, muestreo, característica, aspecto, espesor, adherencia, información, relación cliente proveedor.

Cuadro 20. Espesores referenciales mínimos del recubrimiento sobre muestras sin centrifugar.

Espesor de la pieza	Valor local (mínimo) μm (micrómetros)	Valor medio (mínimo) μm (micrómetros)
Acero ≥ 6 mm	70	85
Acero ≥ 3 mm hasta < 6 mm	45	70
Acero $\geq 1,5$ mm hasta < 3 mm	55	55
Acero $< 1,5$ mm	35	45
Piezas moldeadas ≥ 6 mm	70	80
Piezas moldeadas < 6 mm	60	70

El espesor de los recubrimientos galvanizados es uno de los criterios fundamentales para establecer la calidad de los mismos. Se expresa normalmente en micrómetros (μm), aunque también puede hacerse en g/m^2 (masa de recubrimiento por metro cuadrado de superficie del mismo).

En la norma UNEEN ISO 1461 se especifican los valores mínimos admisibles del espesor de los recubrimientos galvanizados en función del espesor del material de base. Los pequeños defectos de continuidad del recubrimiento producidos durante el proceso o por algún daño mecánico posterior pueden subsanarse por metalización con zinc o mediante aplicación de pintura rica en zinc.

Las exigencias especiales en cuanto a aspecto, espesor o adherencia del recubrimiento deben ser objeto de acuerdo previo entre el cliente y el galvanizador que se haga cargo del trabajo.



b.) Recubrimiento:

El conjunto de las superficies no recubiertas de una misma pieza a reacondicionar por el galvanizador no debe superar el 0,5 % de la superficie total de la misma. Cada superficie no recubierta a reacondicionar no debe medir más de 10 cm². Si las superficies no recubiertas son mayores, la pieza que contiene estas superficies debe ser regalvanizada, salvo acuerdo en contrario entre el cliente y el galvanizador.

El recubrimiento se debe realizar mediante proyección térmica de zinc o mediante una pintura rica en zinc adecuada, dentro de los límites prácticos de estos sistemas. También pueden utilizarse barras de aleación de zinc. El cliente o el usuario final deben ser informados por el galvanizador del método de recubrimiento utilizado. Cuando el cliente advierta de algún requisito especial, por ejemplo, la aplicación posterior de un recubrimiento de pintura, el galvanizador debe informar al cliente del método de recubrimiento propuesto antes de su aplicación.

El tratamiento debe incluir la eliminación del óxido, la limpieza y cualquier otro pretratamiento necesario para garantizar la adherencia. El espesor del recubrimiento en las zonas reacondicionadas debe ser por lo menos 30 µm superior a los valores de espesor local indicados en las tablas 2 ó 3 para el recubrimiento galvanizado en caliente, salvo indicación en contrario del cliente al galvanizador, por ejemplo, cuando la superficie galvanizada vaya a ser revestida a su vez con otro recubrimiento y el espesor en las zonas reacondicionadas sea el mismo que el del recubrimiento galvanizado en caliente. El recubrimiento de las superficies reacondicionadas debe ser capaz de proporcionar protección de sacrificio al acero sobre el que se aplique.

c.) **Adherencia:** Actualmente no existe ninguna norma ISO que especifique los ensayos de adherencia de los recubrimientos galvanizados sobre productos fabricados de hierro y acero. Véase también C.6.

Normalmente no es necesario ensayar la adherencia entre el recubrimiento de zinc y el metal de base porque el procedimiento de galvanización se caracteriza por proporcionar una unión adecuada y las piezas recubiertas deberían ser capaces de resistir, sin desprendimiento ni descascarillado, una manipulación coherente con la naturaleza y espesor del recubrimiento y con la utilización normal de las mismas. En general, los recubrimientos gruesos requieren una manipulación más cuidadosa que



los recubrimientos delgados. El doblado o cualquier conformado después de la galvanización en caliente no se consideran manipulación normal.

En el caso de que se estime necesario ensayar la adherencia, por ejemplo, cuando las piezas de trabajo vayan a estar sometidas a sollicitaciones mecánicas elevadas, cualquier ensayo se debe realizar únicamente sobre las superficies significativas, es decir, en las zonas en las que una buena adherencia sea importante a efectos de la utilización prevista.

Una prueba de corte cuadrículado proporcionará alguna indicación sobre las propiedades mecánicas del recubrimiento, pero en algunos casos puede ser más exigente que las condiciones de servicio. También pueden ser puestos a punto otros ensayos para los recubrimientos galvanizados, como pruebas de choque y pruebas de entallado, en cuyo caso se considerara su eventual publicación en forma de documento separado.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de la situación actual.

La galvanización es un procedimiento para recubrir el hierro y el acero mediante su inmersión en un baño de zinc fundido. Tiene como principal objetivo evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental pueden ocasionar sobre este hierro. Esta actividad representa aproximadamente el 50 % del consumo de zinc en el mundo y desde hace más de 100 años se ha ido afianzando como el procedimiento más fiable y económico de protección del hierro contra la corrosión.

Las piezas que hemos galvanizado procedimos a limpiarlas de grasas y óxidos, y se introducen en un baño de zinc fundido a 450 °C, produciéndose durante la inmersión una reacción químico metalúrgico entre el hierro y el zinc, con varias capas de aleación y una capa exterior de zinc puro.

La película de zinc que se forma sobre el acero lo protege de dos maneras, protección de barrera y protección galvánica (catódica). Es este último tipo de protección la que permite que productos de acero puedan permanecer sin corrosión durante décadas. Esto se explica porque en presencia de humedad el zinc actúa como ánodo y el acero como cátodo, de manera que el zinc se corroe en una acción de sacrificio y evita que el acero se oxide.

Aunque el galvanizado se utiliza extensivamente en la fabricación de una gran variedad de productos que requieren protección contra la corrosión, sus usos



principales están en el acero estructural utilizado en obras públicas y viales, torres de transmisión y comunicaciones y estructuras en áreas: Químicas, construcción, tratamiento de aguas, transporte, recreación, marina, agrícola, minera, etc.

El galvanizado que presentamos tiene una serie de ventajas que no es posible encontrar en otros tipos de recubrimientos, los mismos que son citados a continuación:

- ❖ Bajo costo versus vida útil
- ❖ Bajo nivel de corrosión
- ❖ Recubrimiento adherido metalúrgicamente al acero
- ❖ Fácil de inspeccionar
- ❖ Gran resistencia a daños mecánicos

La vida protectora y la severidad de las condiciones de exposición del galvanizado en nuestros ensayos, la hemos determinado por el espesor del recubrimiento midiéndolas antes y después de galvanizar con un micrómetro, así también su peso.

Estas condiciones la hemos denominado ambientes atmosféricos clasificados como altamente industriales, moderadamente industriales (urbanos), suburbanos y rurales.

En la corrosión de los galvanizados de nuestro recubrimiento influyen muchos factores. Los siguientes, dentro de la amplia clasificación de los ambientes atmosféricos, son los que más interactúan.

❖ **Ambientes Industriales y Urbanos.**- En esta clasificación de exposición atmosférica están comprendidas las emisiones industriales generales tales como gases sulfurosos, neblinas y vapores corrosivos que se liberan inadvertidamente de las plantas químicas, refinerías y plantas de procesamiento similares. Las condiciones de corrosión más agresivas puede esperarse que ocurran en áreas de actividad industrial intensa donde el recubrimiento frecuentemente está expuesto a la lluvia o a una condensación. En estas áreas, los compuestos de azufre se combinan con la humedad del aire y los convierten normalmente en impermeables óxidos y carbonatos de zinc en sulfito de zinc y sulfato de zinc. Debido a que estos compuestos de zinc-azufre son solubles en agua ya que su adhesión a la superficie



del zinc es deficiente; se deslavan fácilmente con la lluvia, dejando expuesta una superficie de zinc despejada para que comience un nuevo ciclo de corrosión.

❖ **Ambientes rurales y Suburbanos.**- A diferencia de los ambientes industriales, los entornos de las atmósferas rurales y suburbanas son relativamente benignos, particularmente si las exposiciones se encuentran lejos de las costas y de las actividades industriales y urbanas.

En las atmósferas, rurales o suburbanas, la corrosión es relativamente lenta. Debido a que las películas de la reacción del zinc que se forman en estas atmósferas tienden a ser adherentes y por lo general no se deslavan de la superficie del zinc, su retención al zinc proporciona una protección superior para el acero.

Aunque el proceso es bastante simple, todas las etapas deben ser rigurosamente controladas si se quiere obtener un recubrimiento de óptima calidad y que sea capaz de dar la protección especificada en el cuadro anterior.

4.2 DEFINICIONES DEL PROCESO DE GALVANIZADO.

4.2.1 Equipos de protección personal y herramientas de trabajo utilizados en el proceso de galvanizado en caliente.

A continuación detallaremos los equipos y herramientas de protección personal que se debe utilizar en el Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de Zinc (factor importante a considerar).

- ❖ Guantes de Cuero.
- ❖ Guante de caucho.
- ❖ Lentes de seguridad.
- ❖ Cascos de seguridad.
- ❖ Mandil de cuero.
- ❖ Mangas de cuero.
- ❖ Mascarillas.
- ❖ Orejeras.
- ❖ Extintores
- ❖ Micrómetro



- ❖ Multímetro digital para temperatura.
- ❖ Cilindro de gas.



Foto 1. Equipos y herramientas de seguridad personal.

4.2.2 Limpieza de desengrase a inmersión.

Aquí utilizamos soluciones de compuestos desengrasantes alcalinos, preparado principalmente para piezas de hierro; es efectivo para remover residuos o suciedades como: aceites, grasas, compuestos abrasivos, barnices, lacas, pinturas y demás, ya que está compuesto de sustancias humectantes, secuestrantes y saponificantes, las cuales atrapan todo compuesto extraño y lo precipitan al fondo de la cuba.

Aunque existen soluciones desengrasantes del tipo ácido, las alcalinas fueron de nuestra preferencia por ser de menor costo y más eficientes.

❖ Condiciones de operación.

- Desengrase a inmersión: 80 – 90 g/lt.
- Temperatura: Temperatura ambiente en °C.
- Tiempo: 5 o más minutos dependiendo de la pieza a desengrasar.



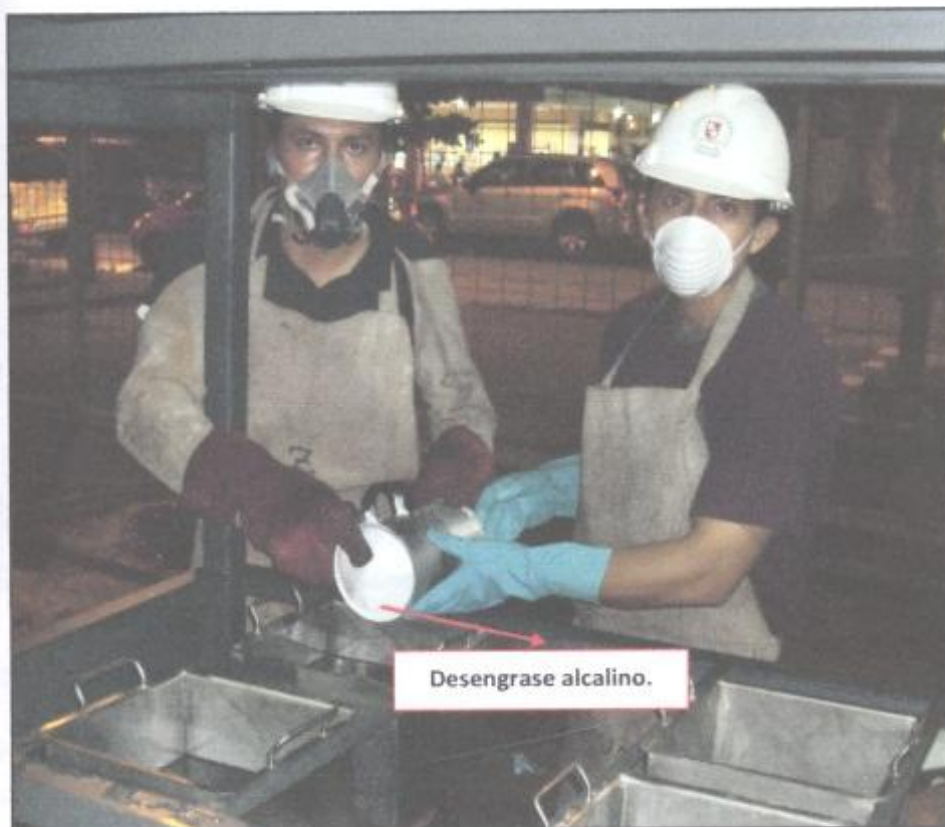


Foto 2. Preparación de la cuba para el desengrase alcalino.

❖ Mantenimiento.

El tiempo de vida de este desengrase, varía notablemente por el uso que se le dé, dependiendo del estado en que entren las piezas al proceso.

Cuando baja su efectividad y no está saturado de grasas se recomienda reforzarlo con un 50% de su formulación inicial o en su defecto hay que cambiarlo tomando todas las precauciones para el tratamiento de agua residual.

❖ Toxicología.

Se recomienda tener mucho cuidado. Usar guantes de caucho y lentes de protección. Lavarse muy bien las manos luego de su manipulación.

4.2.3 Lavado.

Enjuague en agua limpia para evitar el arrastre de líquido de la limpieza desengrasante al decapado.

En este paso utilizamos agua común para el enjuague de las piezas.





Foto 3. Cuba de enjuague o lavado.

4.2.4 Decapado Ácido.

Por lo general son soluciones en base a Ácido Clorhídrico HCl o Sulfúrico H_2SO_4 , que tienen la finalidad de remover los óxidos de la superficie del acero.

En la práctica el decapado lo realizamos con desoxidante que se asemeja al proceso realizado con ácido sulfúrico o clorhídrico (remueven óxidos), ya que debido a procedimientos ambientales y de leyes en nuestro país y el mundo los ácidos en mención no son de libre circulación, por su alto poder contaminante o mala utilización en estupefacientes.

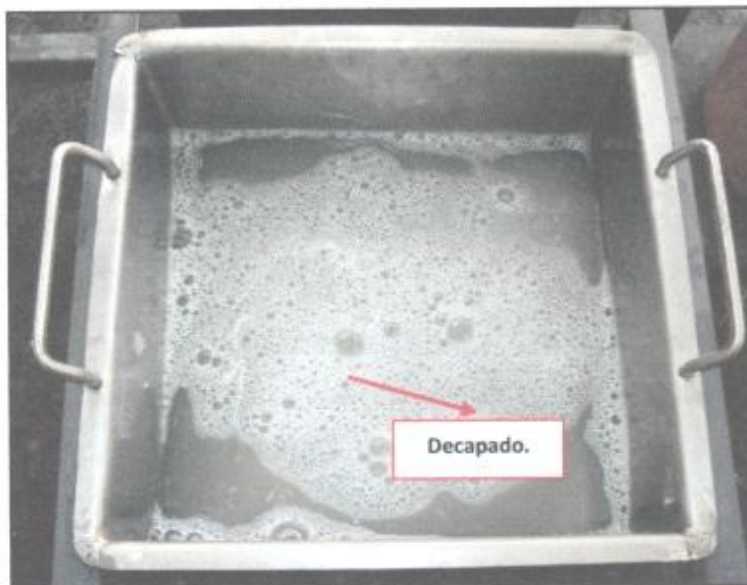


Foto 4. Decapado realizado con Desoxidante.



4.2.5 Lavado o enjuague.

Este es el enjuague en agua limpia para evitar el arrastre de ácido y hierro en solución, los cuales contaminan el fluxado y el zinc fundido del crisol de galvanización (véase Fig. 24).

4.2.6 Fluxado.

El flux lo utilizamos para buscar la adherencia del zinc en las piezas a galvanizar en caliente. Produce una solución amorfa de zinc y provoca la buena adherencia del zinc caliente, que disuelve los óxidos leves que se hayan vuelto a formar sobre la superficie del acero luego de su paso por el decapado y el lavado.

Este producto de trabaja generalmente en frío y una vez que el material está decapado, sin óxido, sin herrumbre, sin grasa completamente limpio y muy bien lavado se sumerge en esta solución por 15-30 minutos, luego un leve enjuague, se seca y se sumerge en el zincado.

- ✓ Se utiliza 300 gr/lt para su preparación.

La película de fundente que se deposita protege la superficie para que no vuelva a oxidarse y asegura un recubrimiento uniforme de zinc en el crisol de galvanizado. Las piezas deben secarse antes de sumergirlas en el crisol de galvanizado, aunque vale indicar que existen varios tipos de compuestos de Cloruro de Zinc y Amonio para el fluxado. Mientras más óptima es la limpieza, decapado y lavado del acero, permitirá el uso de fluxes que admiten mayor tiempo de secado, mayores temperaturas de precalentado y una mínima emisión de humos al ingresar las piezas al zinc fundido en el crisol.

La presencia de contaminantes en el flux influye directamente en la calidad del galvanizado, las pérdidas de zinc y la generación de subproductos tales como cenizas y humos.

El hierro en forma de sales solubles, arrastrado desde el decapado a su lavado posterior es el contaminante más crítico. Su efecto es la formación de escoria en la masa fundida de zinc, la cual aumenta el espesor de la capa de zinc y crea capas intermetálicas desiguales.

El uso de flux sobre el crisol de galvanizado evita las salpicaduras de zinc y la emisión de humo al sumergir las piezas en el crisol como también se genera una



menor cantidad de cenizas y disminuye el consumo de energía para mantención de temperatura.



Foto 5. Cuba de fluxado.

4.2.7 Secado.

Esta cuba es utilizada para escurrir los materiales que han pasado por el proceso de fluxado, previo a la inmersión en caliente con baño de zinc fundido.

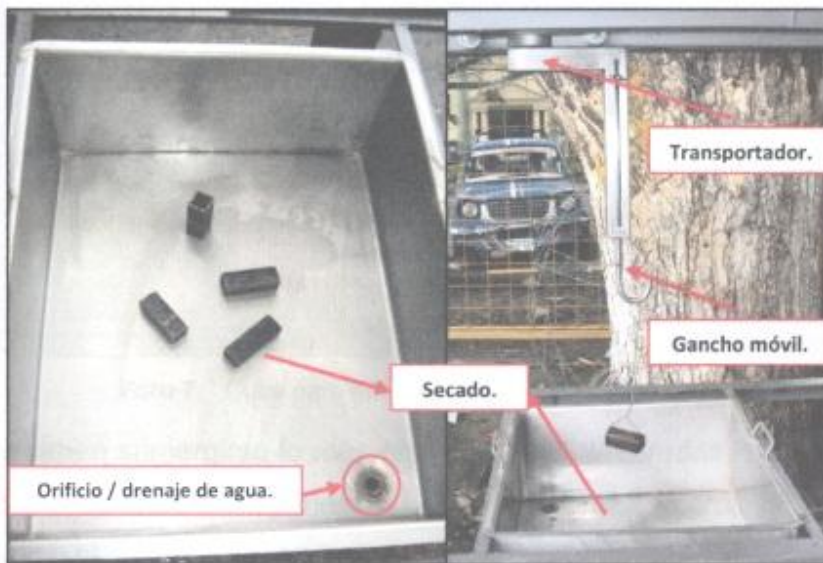


Foto 6. Cuba de secado.



4.2.8 Galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc.

Para obtener un galvanizado de óptima calidad y resistencia a la corrosión, se deben controlar cuidadosamente todas las etapas del proceso. Para un adecuado control de cada una de las etapas del proceso es imprescindible tener claro los principios de todos los procesos de preparación de las piezas que vamos a exponer a los baños de zinc fundido.

La adecuada selección de los procesos de limpieza, decapado, fluxado y el control de las contaminaciones en el fluxado y crisol de galvanizado son críticas.

Además cabe indicar que la cuba de galvanizado generalmente son aceros de gran espesor, donde las piezas a galvanizar cuando toman contacto con el zinc fundido hay una pequeña reacción de óxido y se forma una aleación con el zinc que se llama gross, pero esta transformación se produce después de varios minutos de trabajo y cuando se incrementa en un porcentaje alto el recubrimiento de zinc es irregular.



Foto 7. Cuba para galvanizado - Baño de zinc fundente.

Las piezas deben sumergirse lo más rápido posible y retiradas lentamente del crisol. El tiempo de inmersión dependerá del espesor del acero, la temperatura de precalentado y el espesor deseado.





Foto 8. Preparación de la cuba con zinc previo al proceso de galvanizado.

La reacción de formación de la capa de zinc es rápida, los primeros 1 a 2 minutos y luego decae. Mientras más gruesa la capa, más quebradiza es. En los primeros 30 segundos se forman las 3 capas intermetálicas.

Una composición típica de la masa de metal fundido es:

- ❖ 98,76% Zinc
- ❖ 1,2% Plomo
- ❖ 0,002% Aluminio

Es conveniente que las piezas no se sumerjan a más de 30 cm del fondo, ya que en el fondo se acumula escoria. La temperatura óptima es 450°C. No se deben superar los 480°C ya que el hierro del crisol reacciona con el zinc formando escoria y falla prematura del crisol.



❖ Como lo habíamos mencionado anteriormente la temperatura para un óptimo galvanizado es $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatura que tuvimos que controlarla con un multímetro digital DT-5808 con medidor de frecuencia y termocupla.

A continuación en la siguiente fotografía podemos observar el multímetro con su medidor de temperatura (termocupla).

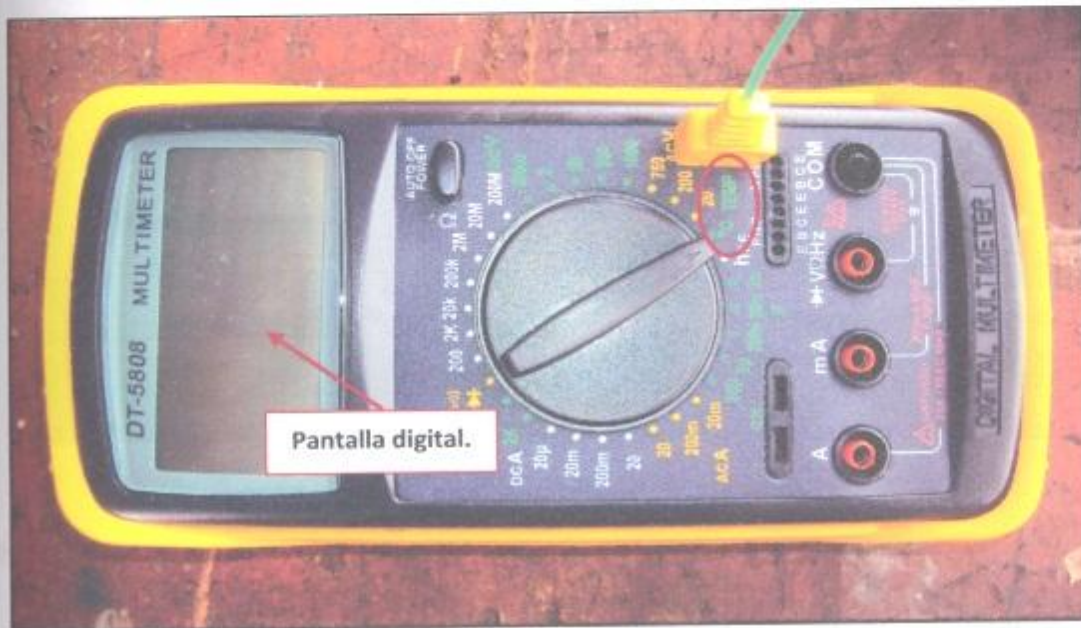


Foto 9. Indicador digital DT-5808 para medición de temperatura.



Foto 10. Indicador digital DT-5808 – adaptador de medición.



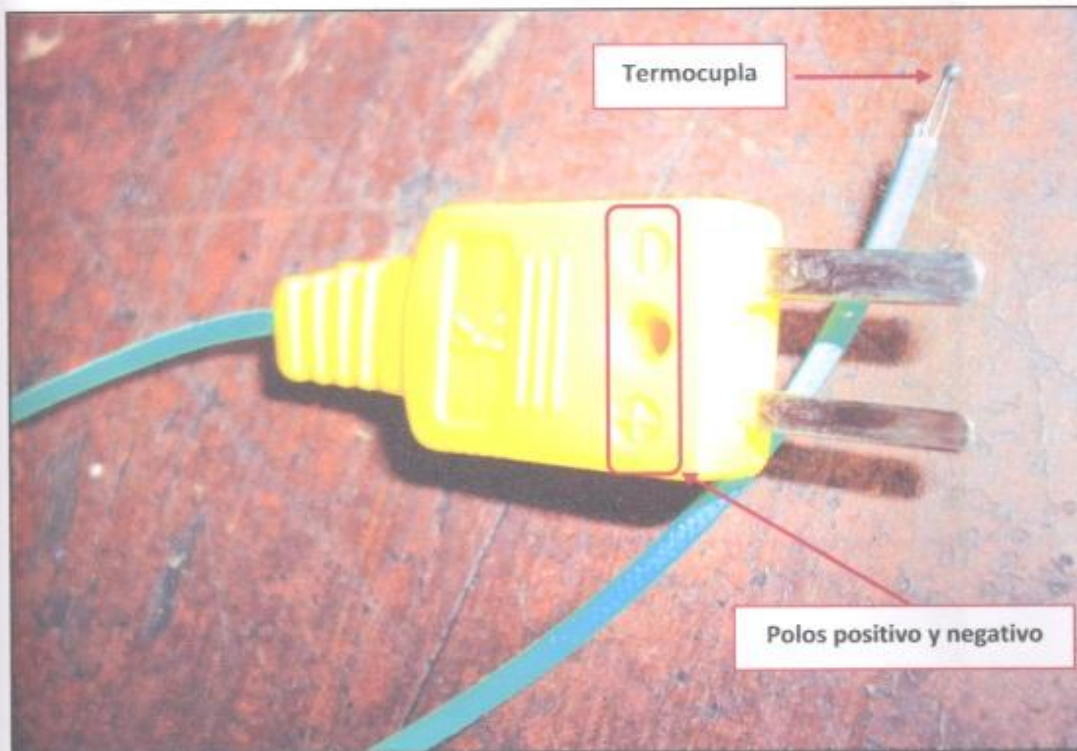


Foto 11. Adaptador digital para medición de temperatura con termocupla.

- ❖ En la fotografía siguiente se está procediendo con la medición de la temperatura a la que está expuesta el zinc fundido. Lo correcto según las normas de galvanizado la temperatura debe estar a 450 °C para obtener buenos resultados de adherencia del zinc en el acero.

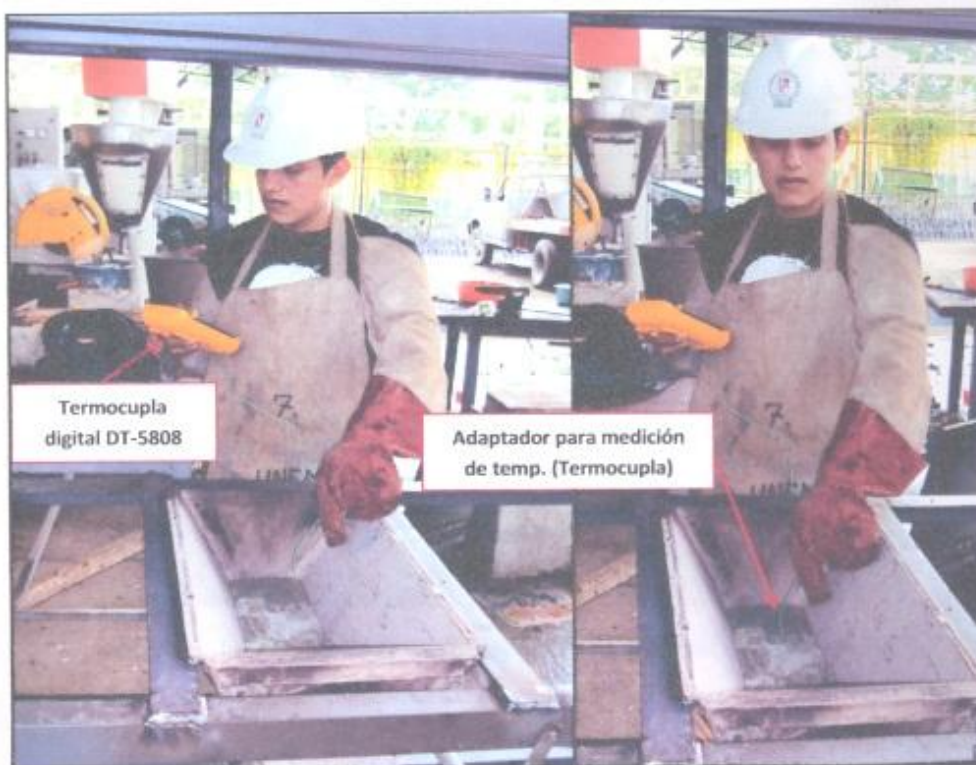


Foto 12. Medición de la temperatura previa al proceso de galvanizado.





Foto 13. Transportación de la varilla corrugada de 1/8" en el baño de zinc.



Foto 14. Inmersión de la varilla corrugada de 1/8" en el baño de zinc.



- ❖ A más de haber galvanizado un trozo de una varilla corrugada de 1/8", también como se puede observar en las fotografías; se procedió a zincar una muestra de un tubo cuadrado de 1".

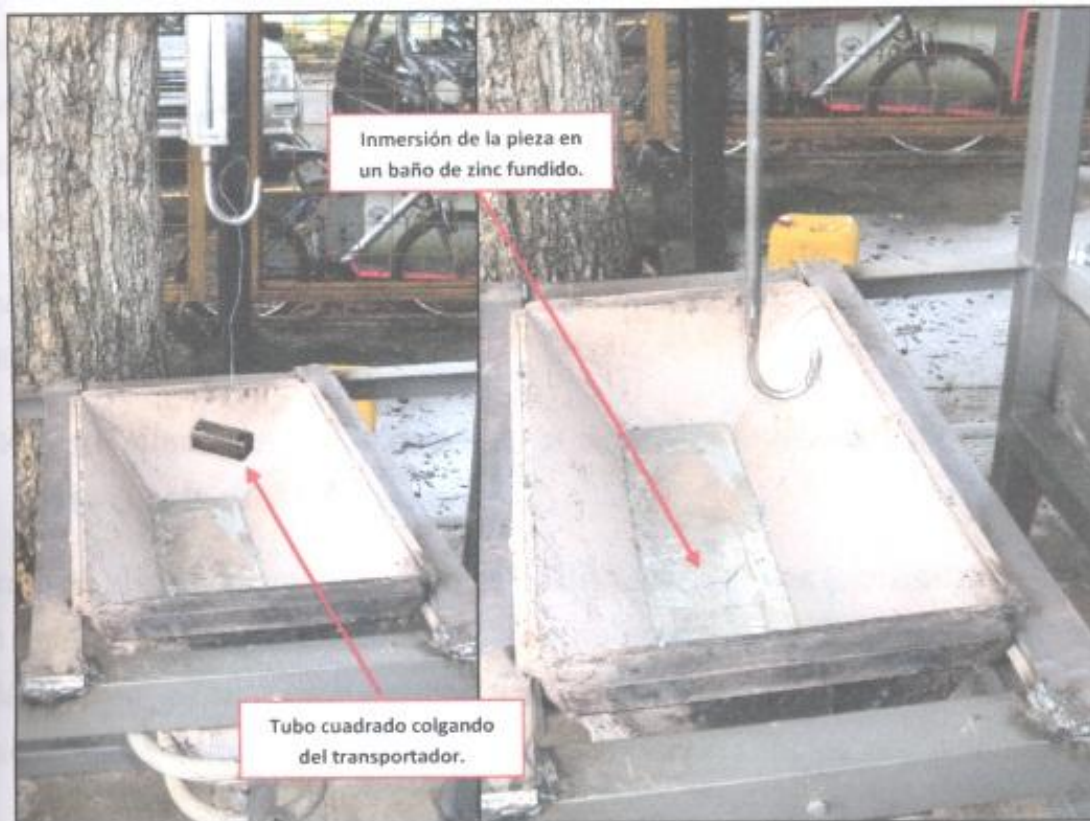


Foto 15. Inmersión del tubo cuadrado de 1" en el baño de zinc fundido.



Foto 16. Retiro de las piezas expuestas al baño de zinc.

4.2.9 Enfriamiento de las piezas galvanizadas.

Una vez extraída la pieza del baño de galvanizado, se procede a un enfriamiento. Existen dos métodos:

❖ **Enfriamiento rápido.**- Por inmersión en una cuba de agua, al que se someten aquellas piezas que no son susceptibles de sufrir deformaciones, o bien, el material que se va a retirar rápidamente, para lo cual se debe manipular de inmediato, debiendo por tanto estar frío.

Dicha cuba de agua, pueden tener sales pasivantes, no necesitándose un control analítico de ellas.

❖ **Enfriamiento Lento.**- Controlado al aire, para el resto de las piezas que no pasan por la cuba de agua.

En caso de piezas con mucha unión de soldaduras, grandes estructuras, entre otras; será necesario controlar en cada momento su enfriamiento, y proceder con extremo cuidado, para evitar cualquier tipo de deformación debido a la liberación de tensiones que se produce al sumergir las piezas en un baño de zinc a 450°C.

El proceso de enfriamiento de las piezas (tubo cuadrado de 1" y varilla corrugada de 1/8") fue realizado a velocidad rápida con agua a temperatura ambiente.

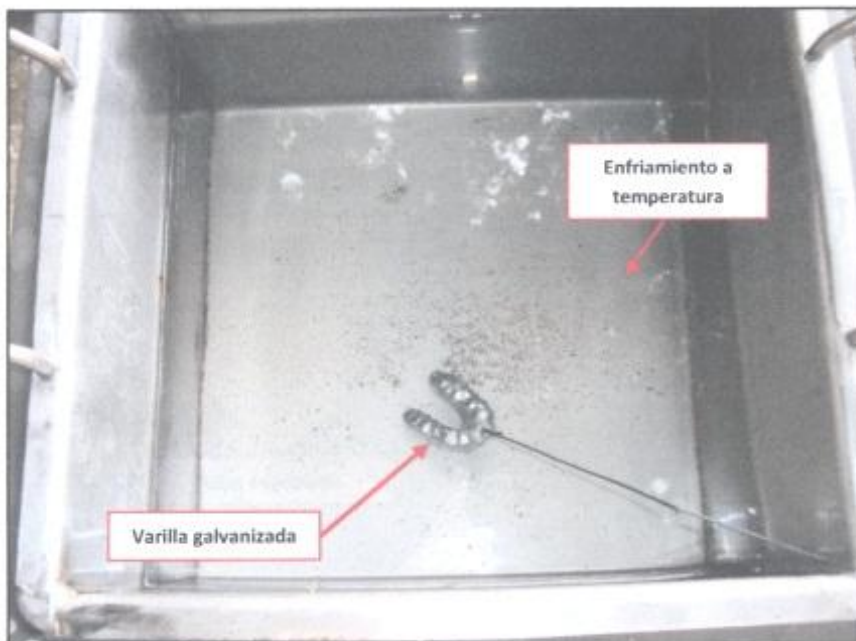


Foto 17. Enfriamiento en agua a temperatura ambiente de las piezas galvanizadas.



4.2.10 Verificación y control de calidad del baño de galvanización.

La verificación y control de calidad en las grandes Industrias se lo realiza con equipos magnéticos para medir espesores del recubrimiento, inspecciones visuales sobre la apariencia y acabado en el acero.

En el proceso planteado controlamos midiendo su espesor antes y después del recubrimiento de zinc, utilizando un micrómetro de 25–50 mm 0,01mm.



Foto 18. Micrómetro de 25-50mm 0.01mm para medición de las piezas a galvanizar.

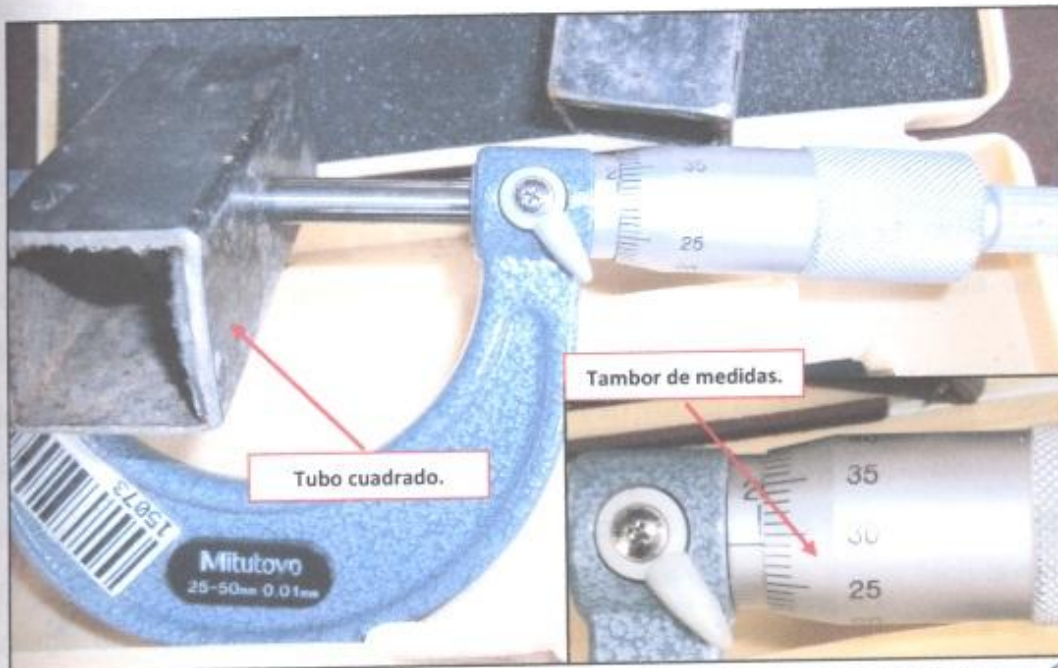


Foto 19. Medición de la pieza antes de galvanizar (25 milésimas con 29 centésimas)



4.3 Resultados y estadística de cada proceso.

❖ El tiempo de inmersión de las piezas en el **desengrase alcalino** fue de 5 minutos, de acuerdo a lo establecido por textos de estudio.

Para la práctica se tomó dos piezas de diferentes tamaños, las mismas que estaban expuestas al ambiente con presencia de corrosión.

❖ El siguiente paso consistió en **lavar o enjuagar** los materiales con agua a temperatura ambiente, con el fin de desprender los residuos de la inmersión desengrasante. De 1 a 2 minutos es suficiente para eliminar impurezas en el acero en caso que lo amerite.

❖ Para el baño de **decapado** por lo general en las grandes Industrias es usual la utilización de ácidos clorhídrico HCl o sulfúrico H₂SO₄, previo con un permiso del ministerio de medio ambiente y autorización de ley, los mismos que demanda tiempo y varios trámites legales jurídicos de conformidad y responsabilidad.

Por aquellas razones a considerar, y al no contar con aquel presupuesto de gran proporción decidimos realizar el proceso de decapado con desoxidante, ya que este se asemeja a los ácidos sulfúricos y clorhídricos; que se encargan de arrancar y remover el óxido de la superficie de los aceros.

Este proceso dura aproximadamente 10 minutos, se debe utilizar guantes de caucho, mascarilla y lentes transparentes, debido a la emanación de gases tóxicos.

❖ Después del decapado se realizó un leve **enjuague** del material, con misma finalidad de liberarlo de residuos o micro partículas que puedan afectar al proceso objetivo (galvanización). El tiempo no varía, es el mismo al anterior.

❖ El **fluxado** es uno de los pasos más indispensables antes de galvanizar, ya que genera soluciones amorfas de zinc y permite la buena adherencia del zinc caliente.

Además disuelve los óxidos leves que se hayan vuelto a formar sobre la superficie del acero luego de su paso por el decapado y el lavado.

Este producto lo trabajamos en frío y una vez que decapamos el material, dejándolo libre de óxido, de herrumbre, de grasa; completamente limpio y muy bien lavado se sumerge en esta solución por 15-30 minutos y luego lo sometemos a un leve enjuague, y en lo posterior lo dejamos que se seque.



❖ El **galvanizado** de las piezas (varilla corrugada de 1/8" y tubo cuadrado de 1") es nuestro principal objetivo.

Se debe comenzar por preparar la cuba de galvanizado con las barras de zinc para que estas se sigan diluyendo, mientras se realizan los procesos de desengrase, lavado, decapado, enjuague y baño flux.

Una barra de zinc de 16,8 kg. tarda en diluirse aproximadamente 1 hora con 15 minutos de acuerdo a la transferencia de calor por convección que se produce a través del movimiento del gas por los quemadores en contacto con un cuerpo de temperatura diferente, en este caso la barra de zinc.

La reacción química del zinc se produce entre 1 compuesto y 1 elemento, el mismo que se integra en el compuesto y libera otro elemento que formaba parte del compuesto inicial.

Ecuación de la reacción química del zinc con el hierro (Zn + Fe) por desplazamiento.



❖ La verificación y **control de calidad** de las piezas galvanizadas se realizó una vez que estaban frías. A continuación las gráficas.



Foto 20. Textura de las piezas galvanizadas.



❖ En la siguiente fotografía podemos observar que la calidad del recubrimiento no es óptima; los factores o agentes para que haya ocurrido esta falla los citaremos a continuación:

- ✓ Limpieza inadecuada de la pieza.
- ✓ Mala preparación química de la pieza con desengrase o decapado.
- ✓ La temperatura del zinc fundido no adecuada.
- ✓ Velocidad agresiva en que son retiradas las piezas.
- ✓ Proyección de partículas desde el horno, entre otras.

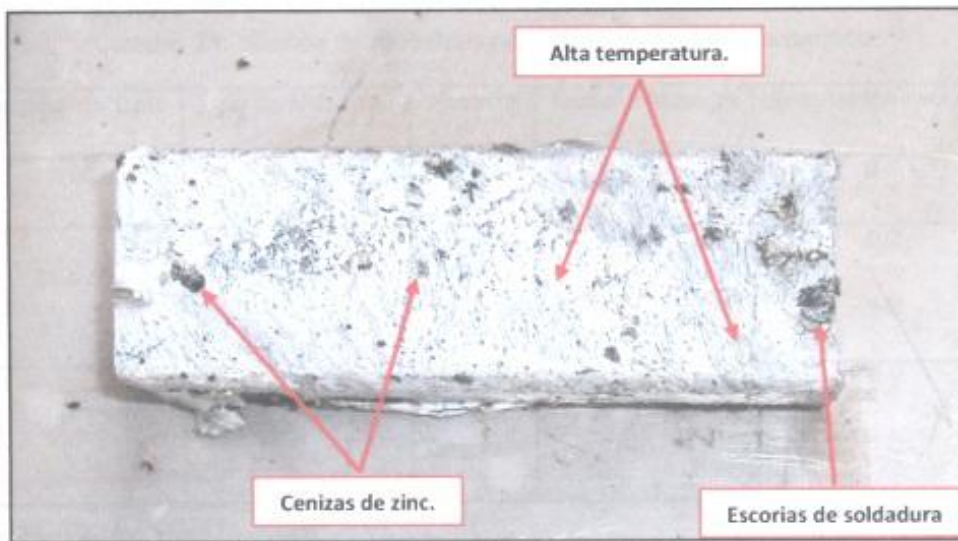


Foto 21. Fallas de recubrimiento en el tubo cuadrado de 1".

❖ Caso contrario ocurrió en la prueba que se realizó con la varilla corrugada, donde se puede apreciar la buena adherencia del recubrimiento de zinc en la pieza; es decir todo el proceso fue realizado correctamente, cumpliendo con las normas de estandarización de galvanizado.

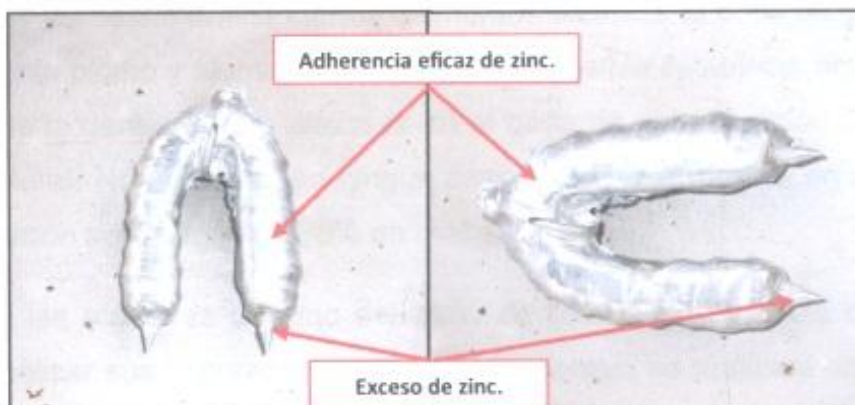


Foto 22. Buena adherencia de zinc durante el proceso de inmersión en caliente.



✓ En la **foto 22** podemos observar la eficaz adherencia del recubrimiento de zinc en una muestra de varilla corrugada de 1/8; donde es visible el brillo que le da el zincado al acero cuando todos los procesos se han realizado a satisfacción.

Así también cabe indicar, que a pesar de haber logrado un excelente recubrimiento en la geometría de la pieza galvanizada; es notorio que en las puntas de la varilla corrugada existe exceso de zinc. Pero esto a su vez no afecta el resto del recubrimiento por ser superficial, ya que con una lima se puede pulir aquella diminuta protuberancia.

4.4 Resultados.

Cuadro 21. Planes de muestreo para piezas de pequeño tamaño.

Tamaño del Lote	Tipo de Muestreo	Muestra	Tamaño Muestra	Aceptación-rechazo
≤ 20	Simple	Única	3	0-1
21 a 50	Doble	Primera	5	0-2
		Segunda	5	1-2
51 a 100	Doble	Primera	8	0-2
		Segunda	8	1-2

4.5 Verificación de Hipótesis.

Aunque en la galvanización se utilice zinc de elevada pureza, después de algún tiempo de operación el zinc del baño de galvanización se impurifica con hierro y otros elementos presentes en los materiales que se galvanizan.

Por otra parte, y por exigencias del proceso, en la galvanización de algunos materiales es necesario añadir ciertos elementos aleantes al baño de galvanización, frecuentemente plomo y aluminio. Por ello, no es posible establecer límites máximos de impurezas ni de elementos aleantes en el baño de galvanización aplicables con carácter general. No obstante, en ningún caso, la riqueza mínima en zinc del baño de galvanización será inferior al 98% en masa.

La toma de las muestras de zinc del baño de galvanización, para determinar su riqueza y analizar sus impurezas o elementos aleantes, se realizará de conformidad con las recomendaciones de la norma NTE INEN 2486 y a la norma ASTM 123/A-123M-02.



CAPÍTULO V.

PROPUESTA.

5.1 Tema

Construcción del proceso de galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc para piezas metálicas.

5.2 Justificación

El presente trabajo de grado no solo significa un requisito para obtener el título de Ingenieros Industriales, sino que a su vez, representa una oportunidad para abrir un nuevo camino como empresarios, lo cual implica enfrentar retos y compromisos diarios con la ejecución de nuestro trabajo, donde evaluaremos mercados y clientes.

El objetivo principal de este trabajo, es el diseño y construcción del proceso de galvanizado en caliente para beneficio de la Universidad Estatal de Milagro, en especial dirigido a las futuras generaciones de la carrera "Ingeniería Industrial", ya que este proyecto será de gran aporte en las diferentes investigaciones científicas según lo amerite el caso.

Por otro lado, se desea demostrar con este trabajo, la labor de investigación, desarrollo y crecimiento que ha tenido la universidad a través de nosotros como proyectistas de este tema, a partir de las diferentes actividades que hemos de implementar en el transcurso de la realización del trabajo, como también las proyecciones e hipótesis que nos plantearemos a corto, mediano y largo plazo.

5.3 Fundamentación.

Este proyecto tiene como objetivo en primer lugar aclarar los conceptos relacionados con los procedimientos más habituales de protección del acero frente a la corrosión mediante zinc, dado que de este conocimiento depende la correcta selección del sistema adecuado que permita asegurar la durabilidad requerida de la protección en cada caso.

En una segunda parte se profundiza sobre los recubrimientos obtenidos mediante galvanización en caliente, destacando alguna de sus propiedades más relevantes, para finalizar resaltando la contribución, como consecuencia de estas mismas propiedades, de la galvanización en caliente al desarrollo sostenible y a la economía de las construcciones en acero.

5.4 OBJETIVOS

5.4.1 General

Contribuir a la unidad Académica Ciencias de la Ingeniería con el Diseño y Construcción de un Proceso de Galvanizado en Caliente con Recubrimiento de Zinc, con el objetivo de que los estudiantes puedan realizar prácticas, aplicando los conocimientos científicos adquiridos con la teoría.

5.4.2 Específicos

- Conocer el funcionamiento del sistema a trabajar para determinar las variables que influyen en este.
- Establecer los principios cinemáticas que están presentes en el sistema y realizar los cálculos numéricos de estos.
- Seleccionar equipos y/o elemento del sistema de acuerdo a los cálculos obtenidos.
- Efectuar la prueba del proceso de galvanización.
- Conocer las normas para recubrimientos galvanizados de piezas pequeñas, tornillería y otros elementos de fijación.

- Elaboración de los planos de la estructura del proceso de galvanizado en caliente.
- Proceso de galvanizado para instrucción académica.

5.5 UBICACIÓN

El proceso de galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc está dirigido para los futuros estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, mención mantenimiento.

La estructura galvánica es de la Unidad Académica Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Milagro. Esta siempre estará a disposición de los estudiantes y profesores que deseen realizar prácticas de corrosión.

5.6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.

A continuación en el cuadro 22 y 23 detallaremos la lista de materiales y químicos que utilizamos en la construcción del proceso de galvanizado, aquí además hemos incluido los costos de mano de obra (dos jornales), aproximadamente de dos semanas de continuo de trabajo.

En los costos de mano de obra se consideran viáticos, fletes, impresiones e investigaciones.

Cuadro 22. Lista de Químicos para la elaboración del Proceso de Galvanizado en Caliente.

Descripción del proceso.	Cantidad requerida	Costo unitario	Total
Desengrase	3 Kg.	\$4,00	\$12,00
Decapado (ácido clorhídrico)	3 Gl.	\$15,50	\$46,50
Fluxado	25 kg.	\$8,50	\$212,50
Lavado	Lo indispensable	referencial	referencial
Zinc (barra)	30 Kg.	\$6,00	\$180,00
TOTAL DE LOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE GALVANIZADO =>			\$451.00



Cuadro 23. Lista de materiales a utilizar para la construcción del proceso de galvanizado en caliente con recubrimiento de zinc.

Materiales	Diámetro	Espesor	Medidas			Cantidad	Costo unitario	Total
			Largo	Ancho	Altura			
Tubo Cuadrado	2"	2 mm	600 cm			3,5	\$ 35,00	\$ 122,50
Correa en "G"		1,5 mm	60 mm	30 mm	10 mm	1,5	\$ 11,55	\$ 17,33
Rueda Base Giratoria	100 mm					4	\$ 6,60	\$ 26,40
Plancha Acero inoxidable		1 mm	244 cm	120 cm		1,5	\$ 103,50	\$ 155,25
Rodamientos 6205	12 mm x 32 mm			10 mm		1	\$ 10,00	\$ 10,00
ángulos		3/4 x 1/2				3	\$ 6,00	\$ 18,00
Argón						½ botella	\$ 70,00	\$ 70,00
Varilla de acero	1/4		25 cm			1	\$ 6,00	\$ 6,00
Plancha P/Galvanizado		8 mm	20 cm	17 cm		1	\$ 30,00	\$ 30,00
Pintura						1 Gl.	\$ 8,50	\$ 8,50
Válvula Ind. reguladora/gas						1	\$ 4,50	\$ 4,50
Manguera			5 mt.			5	\$ 1,50	\$ 7,50
Llave Ind. P/ flujo de llama						3	\$ 3,50	\$ 10,50
Codo Ind.						1	\$ 2,00	\$ 2,00
Abrazadera						6	\$ 0,40	\$ 2,40
Electrodo 6011	1/8"		300 mm			8 lbs	\$ 1,65	\$ 13,20
Rodamiento 6201						4	\$ 2,00	\$ 8,00
Cilindro de gas						1	\$ 60,00	\$ 60,00
Mano de Obra						2 personas	\$ 200,00	\$ 400,00
TOTAL MATERIALES =>								\$ 972,08

5.7 Planificación.

La mayoría de los proyectistas son reacios a admitir que el éxito o fracaso de un proyecto puede quedar determinado en la oficina de planificación del proyecto. Las soluciones técnicamente más correctas pueden no conducir a un resultado satisfactorio desde el punto de vista económico, si los materiales no llegan a tiempo a la obra o si los retrasos en la construcción dilatan la terminación de la misma. Cuando se selecciona la galvanización como procedimiento de protección de las construcciones de acero, debe modificarse el programa del proyecto para tener en cuenta el hecho de que el acero será tratado en taller y entregado en la obra ya



protegido y que, en consecuencia, el contrato de pintura deberá ser reducido o incluso eliminado. Cuando se utilice la galvanización la planificación debe iniciarse en la oficina de proyectos, para introducir en los planos una serie de detalles de diseño que faciliten la perfecta galvanización de las piezas y también para reducir al mínimo las operaciones de soldadura en obra.

5.7.1 Filosofía del proyecto.

Tan pronto como se inicie el proceso de diseño de una construcción metálica es conveniente plantearse la cuestión de cuál será el método de protección para la misma. En algunos casos el proyecto puede exigir sistemas de protección especiales. Así, por ejemplo, si el proyecto corresponde a una planta química en la que exista un ambiente ácido, será conveniente utilizar la galvanización en conjunción con pinturas de especial resistencia química.

Si la construcción metálica no está expuesta a condiciones especiales, la selección del sistema de protección dependerá principalmente de criterios de economía, facilidad de mantenimiento, accesibilidad y de otros factores relacionados con la programación del proyecto. En los últimos años las pinturas se han ido encareciendo progresivamente, debido tanto al mayor coste de las materias primas con que se fabrican como a la necesidad de establecer nuevas formulaciones que satisfagan las regulaciones medioambientales sobre disolventes orgánicos. Sin embargo, el precio del zinc (el metal que constituye el fundamento de los recubrimientos galvanizados) no ha variado apreciablemente durante muchos años y no es probable que experimente un aumento significativo en un futuro previsible, debido a que existen reservas suficientes y su disponibilidad está garantizada.

Si en la filosofía del proyecto se establece la utilización de la galvanización en caliente como método de protección de las estructuras o construcciones de acero, este hecho debe ser tenido en cuenta en la programación del proyecto y muy probablemente tendrá como consecuencia una disminución del tiempo de ejecución.

5.7.2 Planificación de la galvanización.

La galvanización no tiene porqué complicar el programa de ejecución del proyecto. Por el contrario, en general lo simplifica al eliminar ciertas actividades, como el pintado, que están afectadas por las condiciones meteorológicas, o en las que la inspección en obra puede constituir un problema.



Existen, sin embargo, algunos aspectos de la construcción metálica que deben tenerse en cuenta, como son:

- Dimensiones y peso
- Aceros especiales
- Exigencias particulares de la construcción

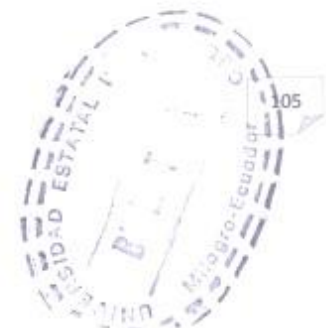
5.7.3 Dimensiones y peso.

Las dimensiones de las cubas de galvanización permiten galvanizar la práctica totalidad de las medidas estándar de los semiproductos siderúrgicos y de los elementos que se utilizan en las construcciones metálicas. Sin embargo, las construcciones soldadas que se fabrican a partir de tales elementos, tales como jácenas, cerchas, vigas compuestas, etc. pueden superar las dimensiones de dichas cubas. En estos casos pueden separarse de la construcción aquellos elementos periféricos de la misma que impidan su inmersión en forma completa en el baño de zinc y unirlos nuevamente a la estructura principal mediante tornillos, una vez galvanizados.

Otra posibilidad es diseñar desde un principio una construcción modular, con elementos individuales adecuados a las dimensiones de la cuba de galvanización y después ensamblarlos en obra mediante tornillería igualmente galvanizada. Esta práctica, que muchas veces viene obligada por razones de transporte o de facilidad de erección en obra de la estructura, puede economizar costes y tiempo de montaje.

El peso de los elementos a galvanizar no suele constituir un problema en la mayoría de las instalaciones de galvanización, ya que normalmente éstas disponen de grúas y poli-pasos para el manejo y transporte de los materiales de suficiente potencia.

La Asociación Técnica Española de Galvanización puede facilitar a quien lo solicite el «Directorio de Empresas Españolas de Galvanización» en el que, entre otros datos, figuran las dimensiones de las cubas de galvanización y las potencias de elevación disponibles en cada una de ellas.



5.7.4 Aceros especiales.

La mayoría de los aceros de construcción son apropiados para su galvanización. Existen, sin embargo, aceros cuyo contenido de silicio y/o fósforo puede favorecer su reactividad con el zinc fundido, dando lugar a recubrimientos galvanizados de espesores superiores a los mínimos especificados por las normas. Los recubrimientos galvanizados gruesos constituyen una ventaja desde el punto de vista de la protección frente a la corrosión, pero su comportamiento mecánico y su aspecto son diferentes a los de los recubrimientos normales. Cuando se prevé la utilización de aceros especiales, se aconseja acordar con el galvanizador el mejor procedimiento a seguir.

5.7.5 Exigencias particulares de la construcción.

Algunos diseños estructurales no son sencillos de galvanizar. Así ocurre, por ejemplo, con algunas construcciones tubulares con uniones y nudos complicados. Esto se debe a que la galvanización, a diferencia de la pintura, protege tanto las superficies externas como internas de estas construcciones y el galvanizador tiene que manejarlas de manera que el zinc fundido penetre primero en el interior de las mismas y después drene completamente. Por ello, es conveniente acordar con el galvanizador la mejor disposición y el tamaño de los orificios de llenado, ventilación y

5.7.6 Costo inicial.

Normalmente, la galvanización por inmersión en caliente es considerada más cara de lo que realmente es.

Hay dos razones para esto. Primero, por ser una capa de alto rendimiento, automáticamente se considera cara.

En segundo lugar, el costo inicial de la galvanización con relación a la pintura ha cambiado significativamente en los últimos años. El precio de la pintura ha sufrido un aumento constante, mientras que la galvanización se mantuvo estable

La Figura 23 muestra que para muchas aplicaciones en la construcción de un proceso de galvanizado por inmersión en caliente los costos son bajos, por lo que es una buena alternativa para emprender una micro industria para este tipo de recubrimientos.



CONCLUSIÓN

Para obtener un galvanizado de óptima calidad y resistencia a la corrosión, se deben controlar cuidadosamente todas las etapas del proceso. La adecuada selección de los procesos de limpieza, decapado, fluxado y el control de las contaminaciones en el fluxado y crisol de galvanizado son críticas.

El recubrimiento protector se produce al sumergir productos de acero en un baño de zinc fundido. La película de zinc que se forma sobre el acero, lo protege de dos maneras, protección de barrera y protección galvánica (catódica). Es este último tipo de protección la que permite que productos de acero puedan permanecer sin corrosión durante décadas.

Esto se explica porque en presencia de humedad el zinc actúa como ánodo y el acero como cátodo, de manera que el zinc se corroe en una acción de sacrificio y evita que el acero se oxide.



RECOMENDACIONES

Para evitar la continua corrosión de los metales que se exponen al medio ambiente abrasivo donde se exponen, se debe tomar medidas correctivas para evitar la oxidación de los aceros, así se prolonga la vida útil de los mismos.

Es indispensable que al momento de galvanizar metales, se cumpla una selección de materiales y procesos previo a galvanizado, desde la selección de la materia prima, la misma que debe pasar por un proceso de calidad, además llevar un control estadístico de cada proceso, realizando mediciones antes y después de cada proceso; tales como el lavado, desengrase, decapado, el secado de la pieza y el galvanizado (recubrimiento de zinc fundido).

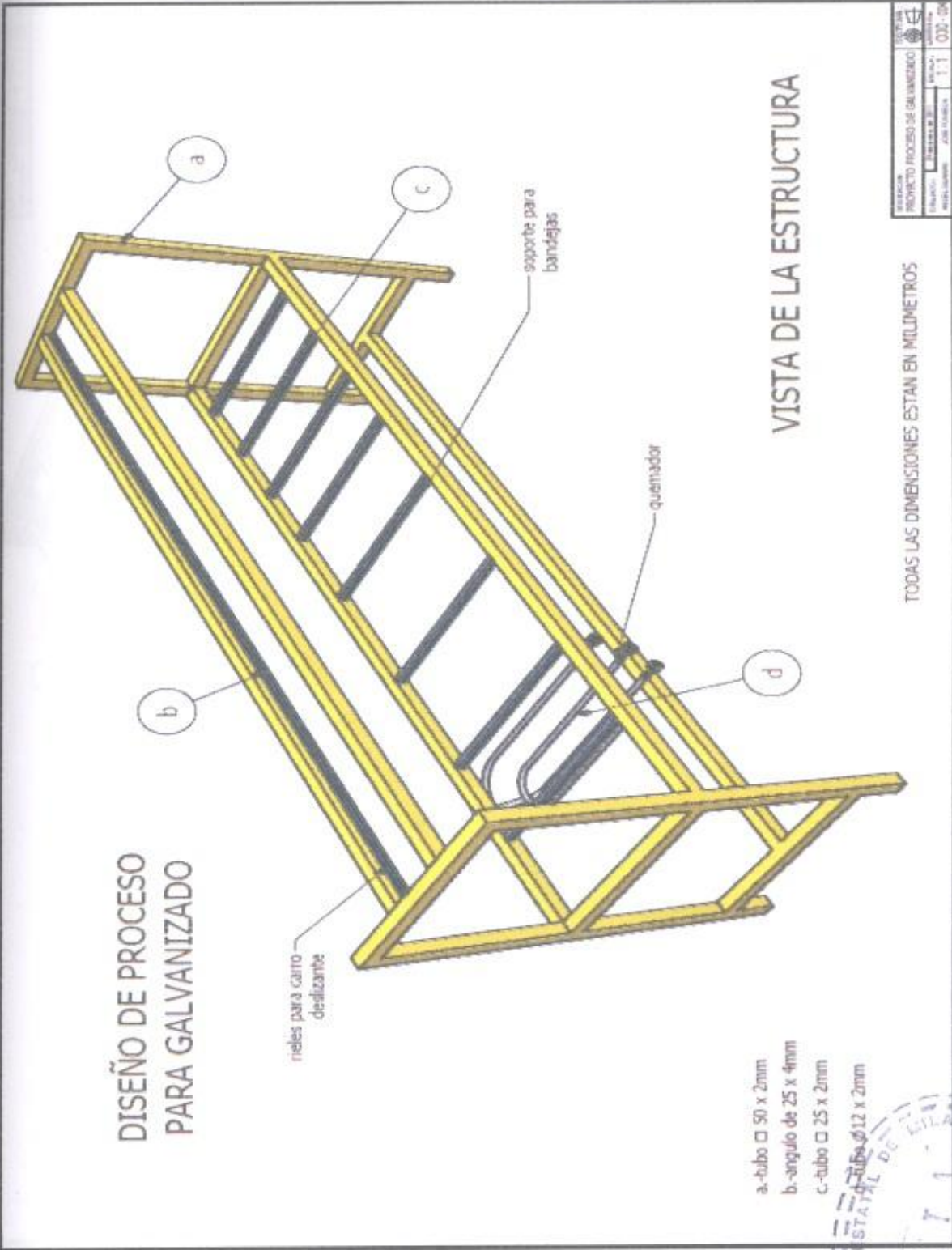


BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACIÓN LATINOAMERICA DE ZINC: *Proceso y calidad de recubrimientos de zinc*, <http://www.latiza.org.net/index.pdf>, Perú, desde 1965.
- ESCUELA DE FORMACIÓN PERSONAL DEL SECTOR METALQUÍMICO: *Galvanización en caliente principios básicos, Proceso y calidad de recubrimiento*, <http://www.fedimetal.com.org./pdf>, 14 de junio del 2004.
- GALVANORTE: *Industria Metalquímica, recubrimiento de zinc y pinturas electrostáticas*, <http://www.galvanorte.ec/index.php>, Quito – Ecuador, desde 2002.
- INSTITUTO DE METAIS NAO FERROSOS: *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*, <http://www.portaldagalvanizacao.com.br/pdf>, extraído el 17 de noviembre del 2010.
- INDUSTRIA METALQUÍMICA GALVANO CIA. LTDA: *Industria Metalquímica Ecuatoriana*, <http://www.galvanoonline.com>, Quito – Ecuador, desde 1977.
- LURRALDE, ANTOLAMENDU: *Libro Blanco – galvanizado en caliente, Sociedad pública Gestión Ambiental*, http://www.libroblanco_galvanizado.net/pdf, 17 de octubre del 2005.
- SÁNCHEZ, JAIRO: *Industria Metalquímica Galvano, procesos electrolíticos, recubrimientos de zinc, Pinturas electrostáticas, sellado electrolítico*, e-mail: galvanoonline@hotmail.com, Quito – Ecuador, desde 1977.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO: *Facultad de Química*, <http://www.unamexonline.com.mex.ar/pdf>, México, extraído el 06 de abril del 2006.

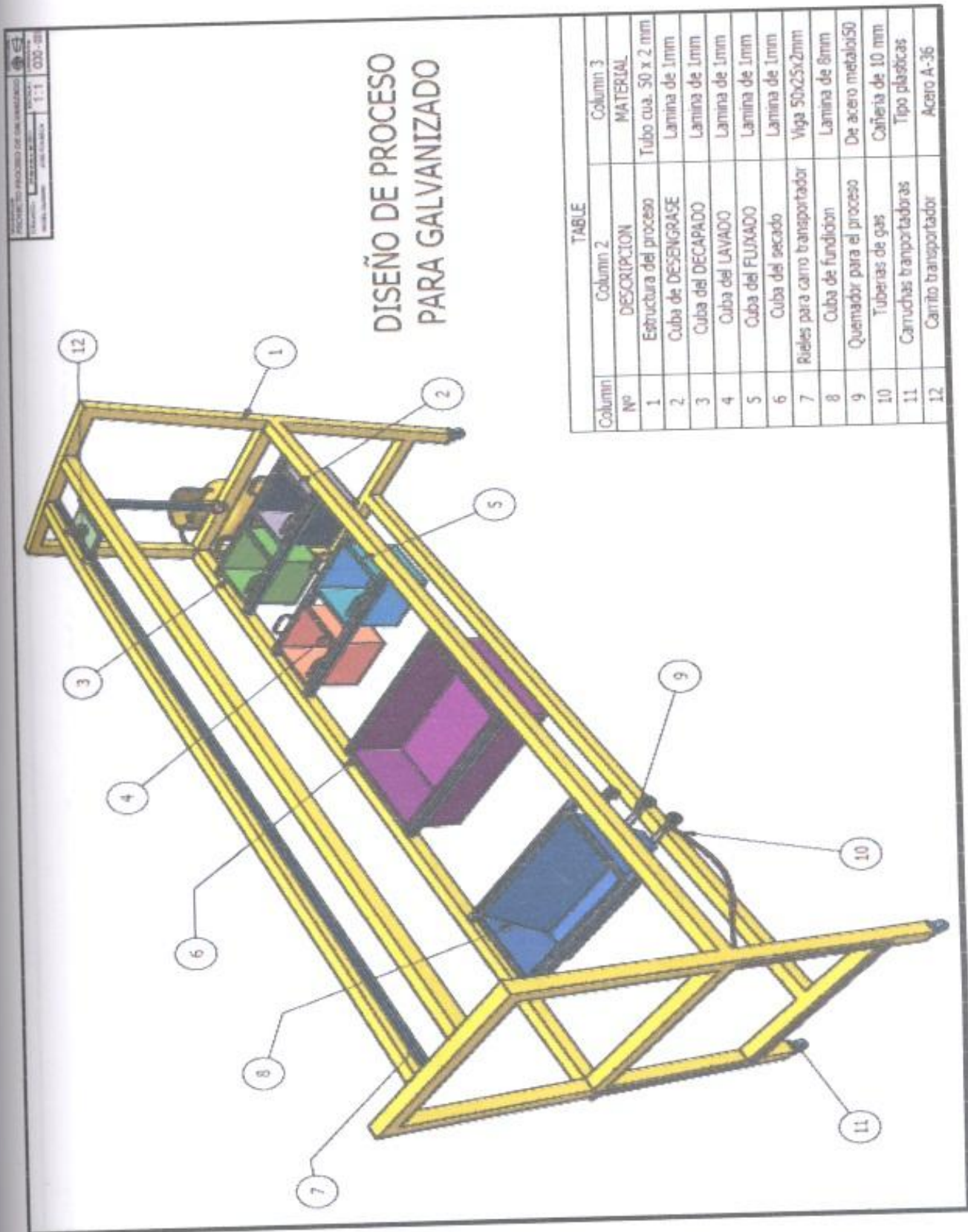
ANEXO 1

ESTRUCTURA PRIMARIA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE



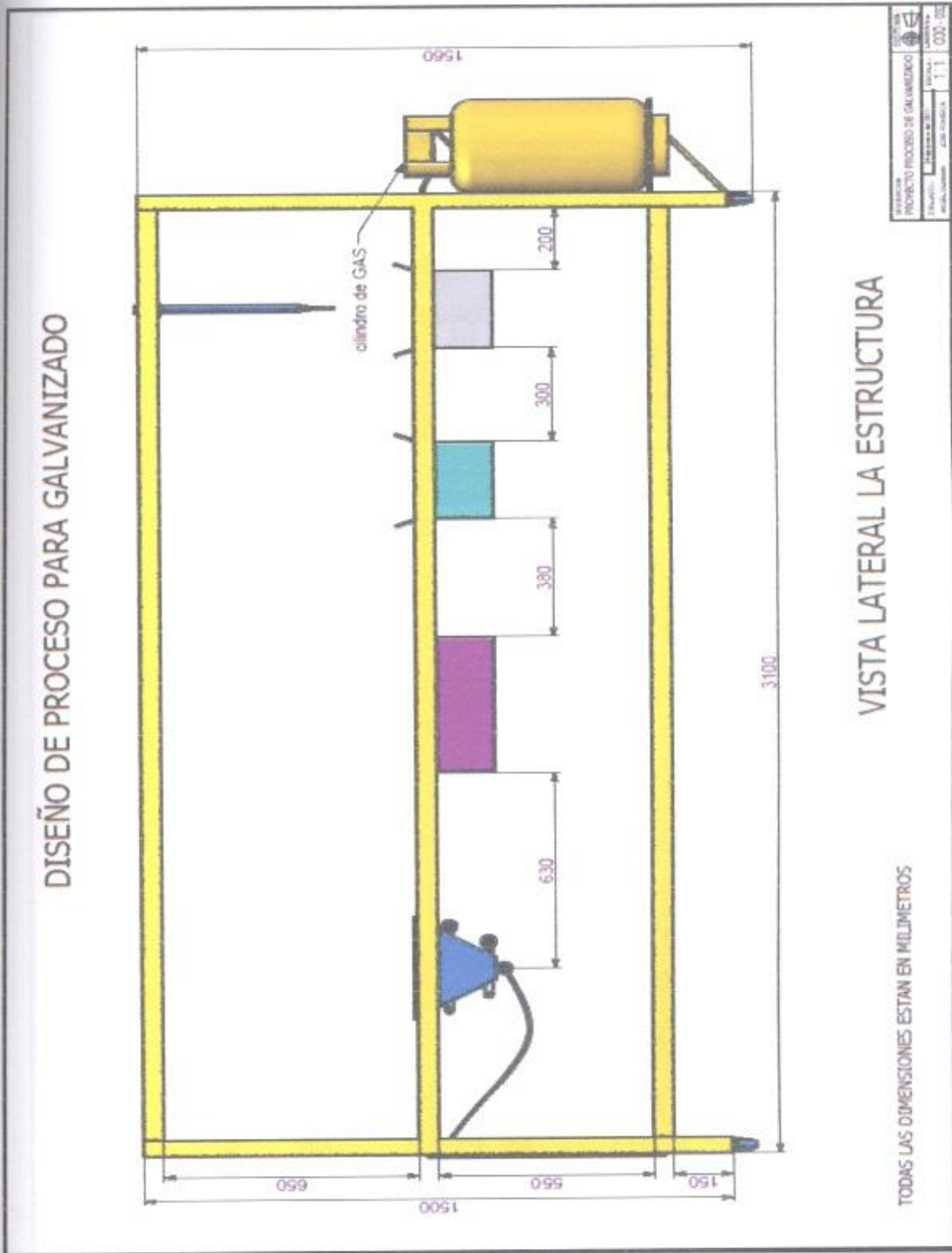
ANEXO 2

ESTRUCTURA COMPLETA DEL PROCESO DE GALVANIZADO EN CALIENTE



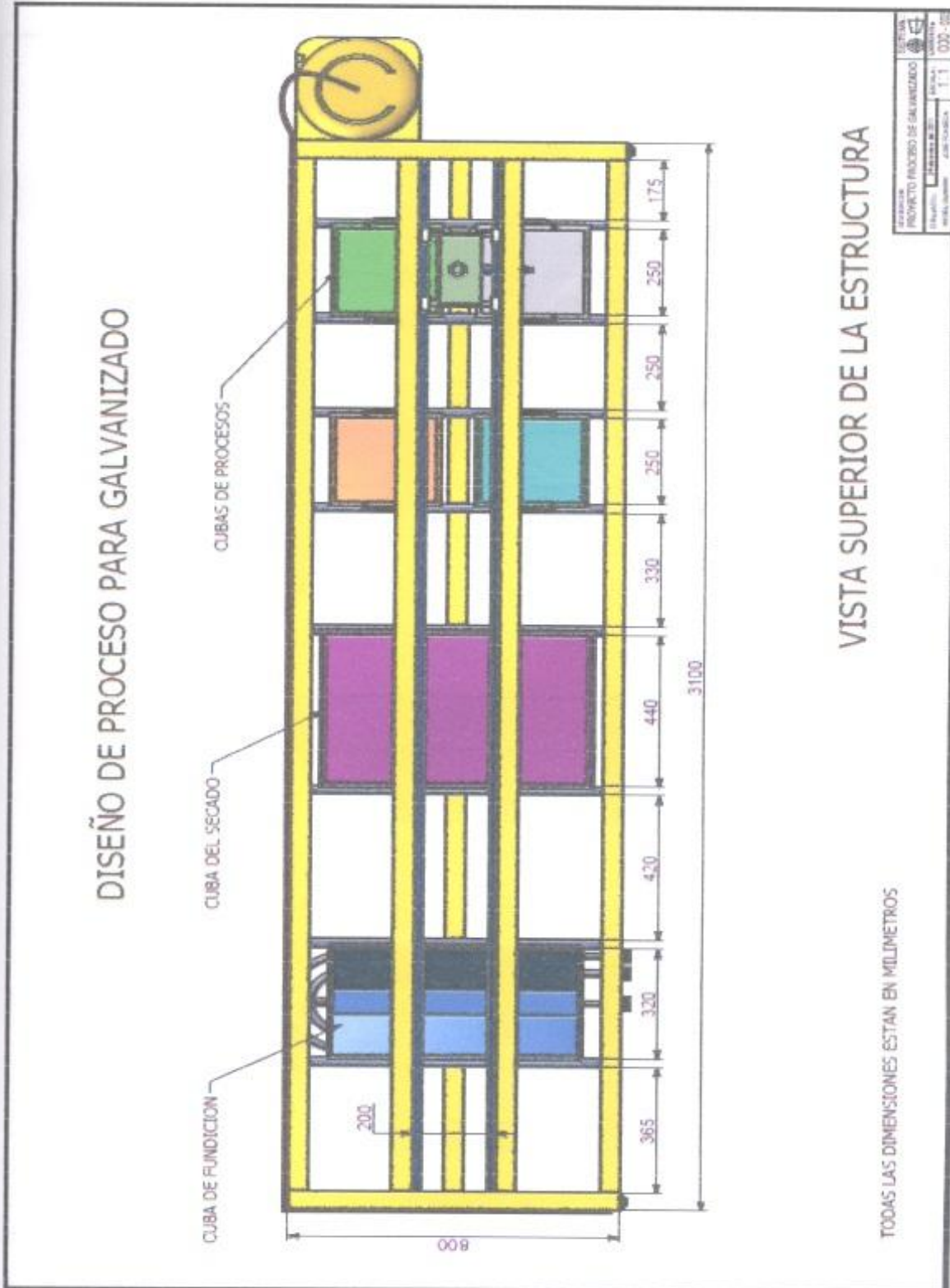
ANEXO 3

VISTA LATERAL DE LA ESTRUCTURA DE GALVANIZADO EN CALIENTE



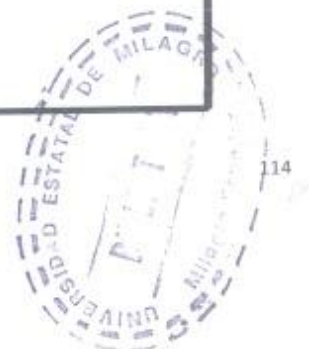
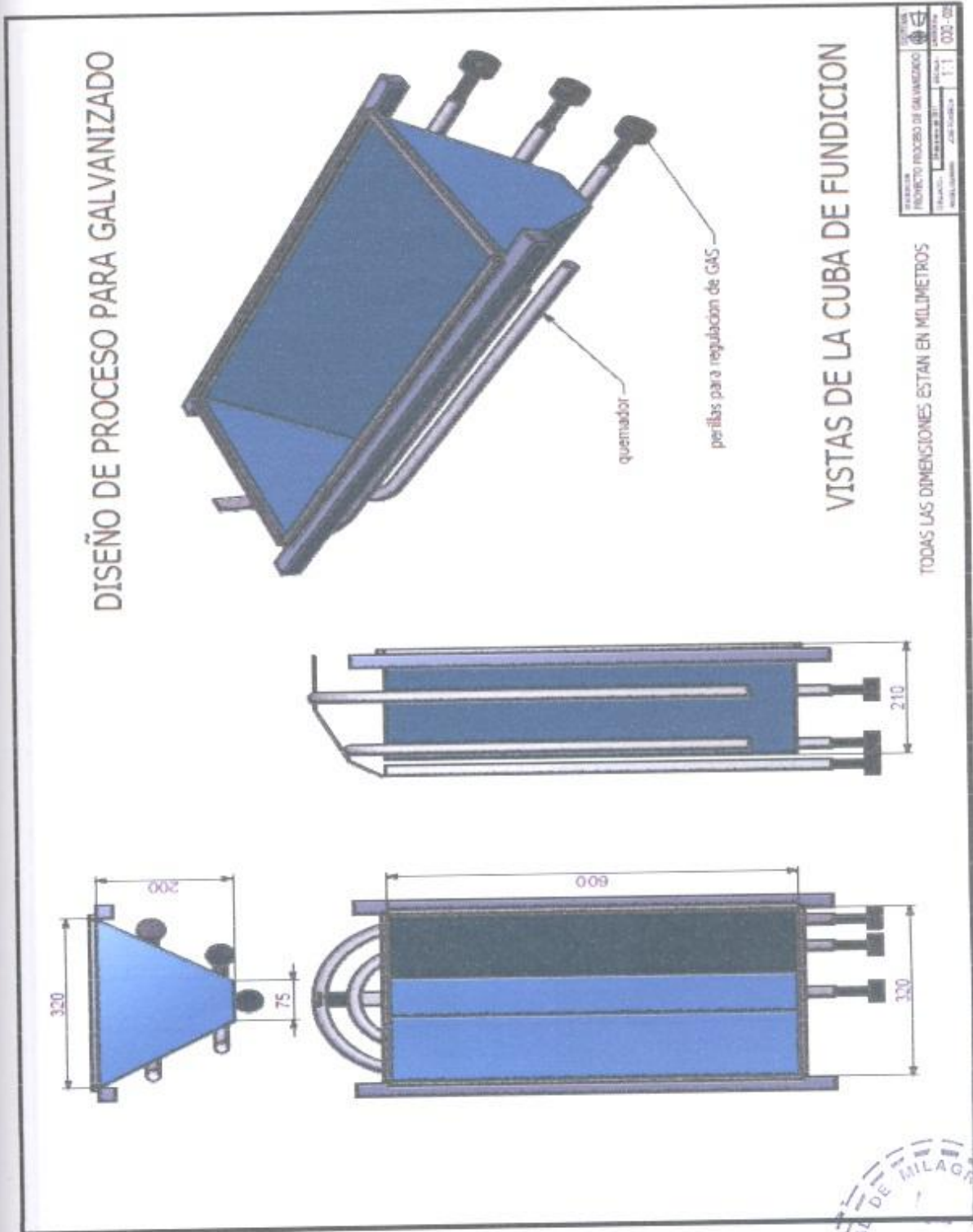
ANEXO 4

VISTA DE ALZADO DE LA ESTRUCTURA DE GALVANIZADO EN CALIENTE



ANEXO 5

DISEÑO Y VISTAS FRONTAL, PERFIL Y ALZADO DE LA CUBA DE FUNDICIÓN DEL ZINC

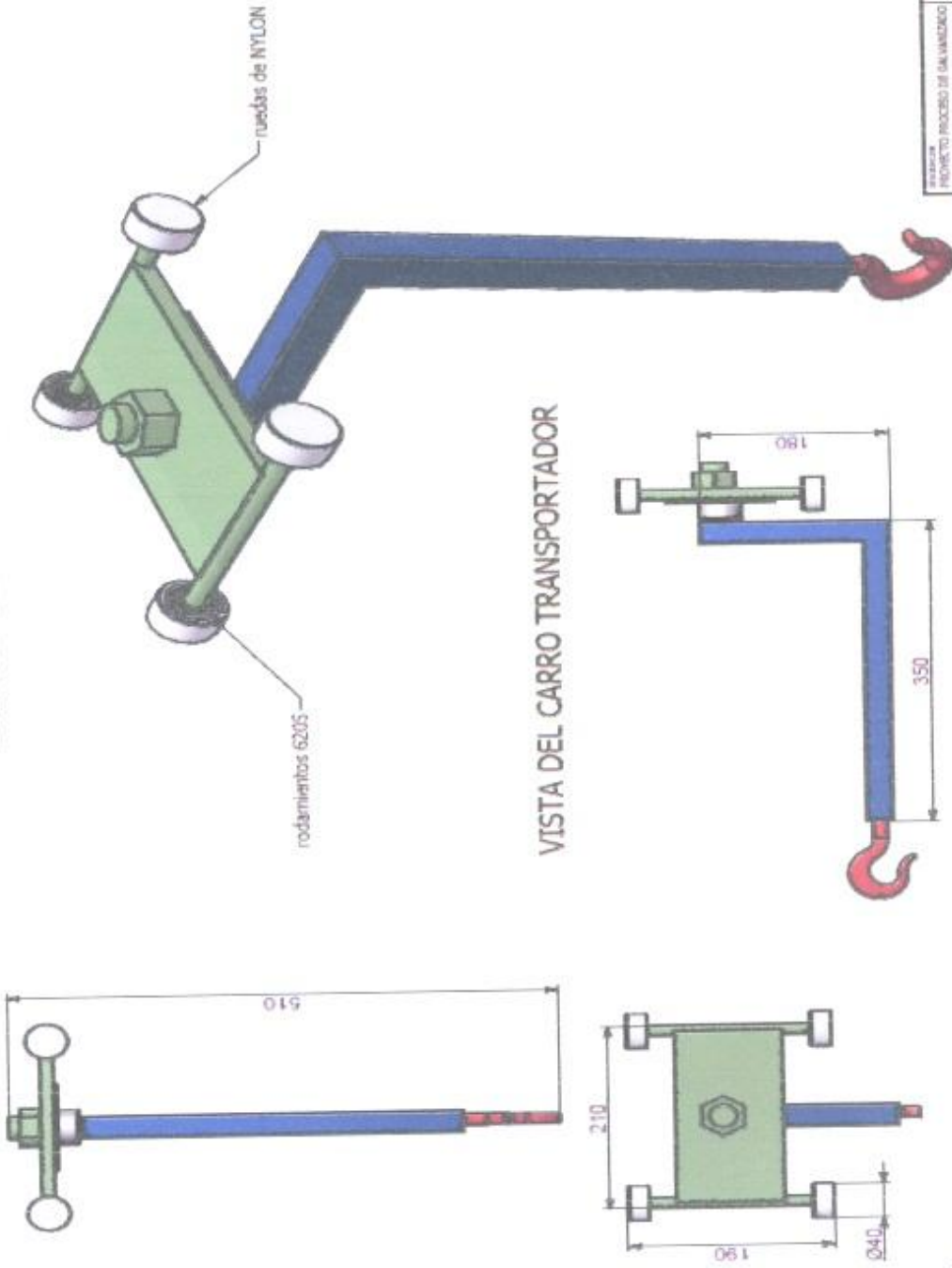


ANEXO 7

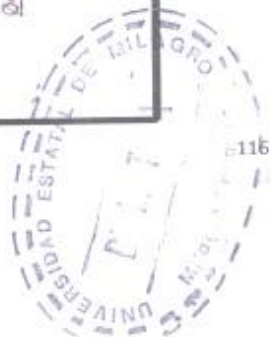
DISEÑO Y VISTAS FRONTAL, PERFIL Y ALZADO DEL CARRO TRANSPORTADOR DE MATERIALES A GALVANIZAR

DISEÑO DE PROCESO PARA GALVANIZADO

TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS



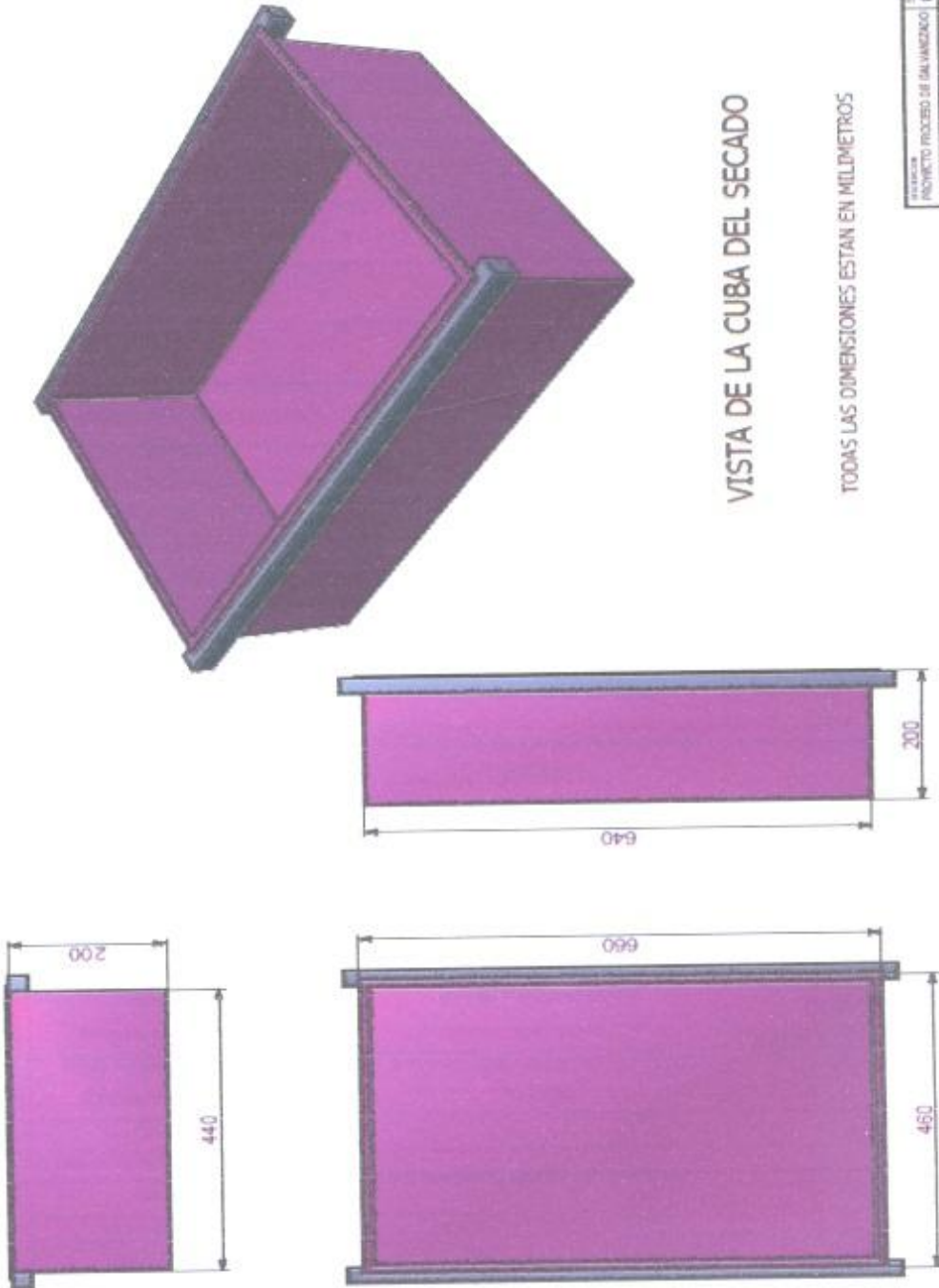
UNIVERSIDAD ESTADAL DE MILAGROS	FECHA: 11/03/2025
PROYECTO: PROCESO DE GALVANIZADO	PROFESOR: DR. JUAN CARLOS
ALUMNO: JUAN CARLOS	GRUPO: 1.1
LABORATORIO: 030	030-05



ANEXO 8

DISEÑO Y VISTA FRONTAL, PERFIL Y ALZADO DE LA CUBA DE SECADO

DISEÑO DE PROCESO PARA GALVANIZADO



VISTA DE LA CUBA DEL SECADO

TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILDIMETROS

INSTITUCION	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
PROYECTO	PROCESO DE GALVANIZADO
FECHA	11/11
ESCALA	1:1
NO. DE DISEÑO	000-000

ANEXO 9

GUIA DE INSPECCION DE RECUBRIMIENTO CON ZINC

Irregularidad	Causas	Recomendaciones	Motivo de rechazo
Zonas desnudas	Residuos de pintura, grasa o aceites	Revisar el proceso de limpieza	Si, excepto cuando se deben a defectos de laminación, o las zonas desnudas son pequeñas y pueden retocarse (con pintura rica en zinc o sueldas cadmio-zinc)
	Cascarilla o residuos de orín	Revisar la operación de decapado	
	Residuos de escoria de soldadura	Limpia las soldaduras por chorreo Evitar el empleo de electrodos recubiertos	
	Fallo del recubrimiento formado por el tratamiento previo con flujo	Revisar las condiciones del citado tratamiento, así como el secado	
	Baño con exceso de aluminio	Regular las adiciones de aluminio	
	Defectos de laminación en el acero base	Comprobar la calidad del acero suministrado	
Rugosidad General	Rugosidad en el acero	Revisar el acero suministrado	No, excepto acuerdo previo
	Decapado excesivo	Reducir el tiempo de decapado, emplear inhibidor	
	Temperatura de galvanización elevada y/o tiempo de inmersión excesivo	Ajustar las condiciones de galvanización	
	Baño del galvanizado demasiado frío	Aumentar la temperatura	
	Cinc procedente de las costuras, uniones, onficios, etc.	Sacar el material lentamente	Si
	Residuos superficiales sobre el acero	Comprobar la limpieza del acero	
	Flujo arrastrado de la superficie del baño	Espumar antes de la extracción	
Manchas negras	Partículas de flujo ocluidas procedentes del espolvoreado con el mismo (ver inclusiones de flujo)	Limitar la adición del flujo a la superficie del baño	Si
	Manchas y salpicaduras	Revisar las condiciones de almacenamiento	No
Recubrimiento gris oscuro (todo el revestimiento en aleación de cinc-hierro)	Composición del acero (mucho silicio, fósforo o carbono) o tratamiento mecánico incorrecto	Comprobar si el acero suministrado posee la composición adecuada para su galvanización	No, si se debe a la condición del acero o se limita a zonas ocasionadas. Control mediante acuerdo previo
	Enfriamiento lento después de la galvanización	Evitar el apilamiento en caliente; enfriar en agua	
	Desprendimiento de hidrógeno durante la solidificación del recubrimiento	Evitar el decapado excesivo, utilizar inhibidor	
Manchas de Orin	Derrame de ácidos, flujo, etc. De costuras y pliegues	Comprobar el diseño y la fabricación	No
	Almacenamiento junto al material oxidado	Comprobar las condiciones del almacenamiento	
	Empaquetado de artículos en estado húmedo	Secar antes de empaquetar, incluir desecante	



ANEXO 10

APÉNDICE INFORMATIVO “D”

DETERMINACIÓN DEL ESPESOR

D.1 Generalidades.

El método no destructivo utilizado más frecuentemente para la determinación del espesor es el método magnético. No obstante, pueden utilizarse también otros métodos (véase, por ejemplo, la Norma ISO 2808, el método electromagnético).

Los métodos destructivos incluyen la determinación de la masa del recubrimiento por unidad de superficie por el método gravimétrico y su conversión en espesor (micrómetros) dividiendo por 7,2 el valor expresado en gramos por metro cuadrado (véase inciso D.3), el método coulombimétrico (véase la norma EN ISO 2177) y el método del corte micrográfico (véase D.2).

En particular, la relación entre espesor local y espesor medio cuando se utilice el método magnético y los resultados se comparen con los obtenidos mediante el ensayo gravimétrico de la norma EN ISO 1460 utilizado en caso de controversia.

D.2 Método del corte micrográfico.

Es igualmente posible utilizar el método del corte micrográfico (véase la norma EN ISO 1463). Sin embargo, no es adecuado para el control de rutina de piezas grandes o costosas debido a su carácter destructivo y a que únicamente refiere a un solo plano de corte. Proporciona una imagen visual simple del corte examinado.

D.3 Cálculo del espesor a partir de la masa por unidad de superficie (método de referencia).

El método de la norma EN ISO 1460 permite obtener la masa del recubrimiento por unidad de superficie en gramos por metro cuadrado. Este valor puede convertirse en espesor local (micrómetros) dividiendo por la densidad nominal del recubrimiento (7,2 g/cm³). En las tablas D.1 y D.2 se indican las masas aproximadas del recubrimiento que corresponden a los espesores dados en las tablas 2 y 3.

TABLA D.1.- Masas mínimas del recubrimiento (y espesores correspondientes) en muestras sin centrifugar^a

Espesor de la pieza	Recubrimiento local (mínimo) ^b		Recubrimiento medio (mínimo) ^c	
	g/m ²	µm	g/m ²	µm
Acero ≥6 mm	610	85	720	100
Acero ≥3 mm hasta <6 mm	468	65	610	85
Acero ≥1,5 mm hasta <3 mm	325	45	468	65
Acero <1,5 mm	250	35	325	45
Piezas moldeadas ≥6 mm	505	70	575	80
Piezas moldeadas <6 mm	430	60	505	70

a Véase nota 7 en el inciso 6.2.3
b Véase 3.10
c Véase 3.11

TABLA D.2.- Masas mínimas del recubrimiento (y espesores correspondientes) en muestras centrifugadas^a

Espesor de la pieza	Recubrimiento local (mínimo) ^b		Recubrimiento medio (mínimo) ^c	
	g/m ²	µm	g/m ²	µm
Piezas con roscas:				
Diámetro ≥ 20 mm	325	45	395	55
Diámetro ≥6 mm hasta <20 mm	250	35	325	45
Diámetro <6 mm	145	20	180	25
Otras piezas (incluidas piezas moldeadas):				
≥3mm	325	45	395	55
<3mm	250	35	325	45

a Véase nota 8 en el punto 6.2.3
b Véase 3.10
c Véase 3.11

ANEXO 11

APÉNDICE INFORMATIVO "E"

RECUBRIMIENTOS NO MAGNÉTICOS SOBRE SUSTRATOS MAGNÉTICOS – MEDICIÓN DEL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO – MÉTODO MAGNÉTICO.

E.1 Alcance y campo de aplicación.

Esta norma especifica el método de uso de instrumentos para las mediciones no destructivas del espesor de recubrimientos no magnéticos sobre bases metálicas magnéticas.

Este método es aplicable solamente para mediciones sobre especímenes razonablemente planos.

E.2 Principio.

Los instrumentos para la determinación del espesor de un recubrimiento del tipo magnético miden ya sea la atracción magnética entre un magneto permanente y el metal base, como es influenciado por la presencia del recubrimiento, o la resistencia de un flujo magnético a pasar a través del recubrimiento y del metal base.

E.3 Factores que afectan la precisión de la medición 1.

Los siguientes factores podrían afectar la precisión de las mediciones de los espesores de los recubrimientos.

E.3.1 Espesor del recubrimiento.

La precisión de una medición cambia con el espesor del recubrimiento dependiendo del diseño del instrumento. Para recubrimientos delgados, la precisión es constante, independiente del espesor. Para recubrimientos gruesos, la precisión es una fracción aproximadamente constante del espesor.

E.3.2 Propiedades magnéticas del metal base.

Las mediciones de espesor por el método magnético son afectadas por las variaciones en las propiedades magnéticas del metal base. Para propósitos prácticos, las variaciones magnéticas en aceros con bajo contenido de carbón pueden ser consideradas como insignificantes. Para evitar las influencias de los diversos tratamientos térmicos y trabajo en frío, el instrumento deberá ser calibrado usando un estándar de calibración teniendo un metal base con las mismas propiedades del espécimen de prueba o, preferentemente, si está disponible, con una muestra de la parte a ser evaluada antes de la aplicación del recubrimiento.

E.3.3 Espesor del metal base.

Para cada instrumento, existe un espesor crítico del metal base por arriba del cual las mediciones no serán afectadas por un aumento en el espesor. Ya que este depende de la sonda del instrumento y de la naturaleza del metal base, su valor deberá ser determinado experimentalmente, a menos que este sea especificado por el fabricante.

E.3.4 Efectos de borde.

El método es sensible a cambios abruptos en el contorno de la superficie del espécimen de prueba. Por lo tanto, las mediciones hechas muy cerca de un borde o de una esquina interna no serán válidas a menos que el instrumento esté especialmente calibrado para tales mediciones. El efecto se puede extender hasta cerca de 20 mm desde la discontinuidad, dependiendo del instrumento.

E.3.5 Curvatura.

Las mediciones son afectadas por la curvatura del espécimen de prueba. La influencia de la curvatura varía considerablemente con la marca y tipo de instrumento, pero siempre se vuelve más pronunciada con la reducción del radio de curvatura.

Los instrumentos con sondas de dos polos pueden producir lecturas diferentes si los polos son alineados en planos paralelos o perpendiculares al eje de una superficie cilíndrica. Un efecto similar puede presentarse con una sonda de un solo polo si la punta no está desgastada uniformemente.

Las mediciones efectuadas sobre especímenes de prueba curvados no serían, por lo tanto, válidas a menos que el instrumento esté específicamente calibrado para tales mediciones.

E.3.6 Rugosidad de la superficie.

Si el rango de una serie de mediciones, hechas dentro de la misma área de referencia sobre un área rugosa, excede substancialmente la repetitividad inherente del instrumento, el número de mediciones requeridas deberá ser incrementado por lo menos a cinco.

E.3.7 Dirección del trabajo mecánico del metal base.

Las mediciones hechas por un instrumento que tenga una sonda de dos polos o una sonda de un solo polo desgastada no uniformemente pueden ser influenciadas por la dirección en la cual el metal magnético base ha sido sometido a trabajo mecánico

(como laminado), la lectura cambiará con la orientación de la sonda sobre la superficie.

E.3.8 Magnetismo residual.

El magnetismo residual en el metal base afecta las mediciones hechas por instrumentos que emplean un campo magnético estacionario. Su influencia sobre las mediciones hechas por instrumentos de rechazo que emplean un campo magnético alternante es mucho menor (Véase E.6.7).

E.3.9 Campos magnéticos.

Los campos magnéticos fuertes, como aquellos producidos por varios tipos de equipos eléctricos, pueden interferir seriamente con la operación de los instrumentos que emplean campos magnéticos estacionarios. (Véase E.6.7)

E.3.10 Partículas externas.

Las sondas de los instrumentos tienen que hacer contacto físico con la superficie de prueba porque estos instrumentos son sensibles a materia externa que impide el contacto íntimo entre la sonda y la superficie del recubrimiento. La limpieza de la punta de la sonda deberá ser verificada.

E.3.11 Conductividad del recubrimiento.

Algunos instrumentos magnéticos trabajan a frecuencias entre 200 y 2000 Hz. A estas frecuencias, corrientes parásitas producidas en recubrimientos gruesos y altamente conductivos pueden interferir con la lectura.

E.3.12 Presión de la sonda.

Los polos de la sonda de prueba tienen que ser aplicados a una presión constante suficientemente alta, de tal forma que ninguna deformación del recubrimiento se presente, incluso si el material del recubrimiento es suave.

Alternativamente, los recubrimientos suaves pueden ser cubiertos con calzas, y el espesor de estas deberá ser sustraído de los resultados de la prueba. Tales consideraciones son también necesarias si se mide el espesor de recubrimientos de fosfato.

E.3.13 Orientación de la sonda.

Las lecturas de los instrumentos que usan el principio de atracción magnética pueden ser afectadas por la orientación del magneto con respecto al campo gravitacional de la Tierra. Así, la operación de la sonda de un instrumento en una

posición horizontal o invertida puede requerir una calibración diferente, o puede ser imposible.

E.4 Calibración de los instrumentos.

E.4.1 General.

Antes de usar, cada instrumento deberá ser calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante usando estándares de calibración adecuados o mediante la comparación de mediciones magnéticas de espesor sobre una selección de los especímenes de prueba con mediciones de espesor hechas por el método especificado en el estándar internacional para el recubrimiento en cuestión. Para los instrumentos que no pueden ser calibrados, la desviación del valor nominal deberá ser determinada mediante la comparación con estándares de calibración y deberán ser tomados en consideración para todas las mediciones.

Durante su uso, la calibración de los instrumentos deberá ser verificada frecuentemente. Especial atención deberá tenerse con los factores mencionados en E.1 y a los procedimientos especificados en E.5.

E.4.2 Estándares de calibración.

Los estándares de calibración de espesores uniformes están disponibles ya sea como cuñas u hojas, o como estándares recubiertos.

E.4.2.1 Calzas de calibración.

NOTA: En este su inciso, la palabra "foil" es usada para referirse a una hoja o cuña metálica no magnética o no metálica.

Debido a la dificultad de asegurar un contacto adecuado, las calzas no son generalmente recomendadas para la calibración de instrumentos que usan el principio de atracción magnética, pero son adecuadas para su uso en ciertas circunstancias con las respectivas precauciones. Estas pueden ser usadas normalmente para la calibración de otros tipos de instrumentos.

Las calzas son apropiadas para la calibración sobre superficies curvadas y son más fáciles de obtener que los estándares recubiertos.

Para evitar los errores de medición, es necesario asegurar que el contacto íntimo se establezca entre la calza y el metal base. Las calzas elásticas deberán ser evitadas si es posible.

Las calzas de calibración están sujetas a identificación y deberán, por lo tanto, ser remplazadas frecuentemente.

E.4.2.2 Estándares recubiertos.

Los estándares recubiertos consisten en recubrimientos de espesor conocido y uniforme permanentemente unido al metal base.

E.4.3 Verificación.

E.4.3.1 La rugosidad de la superficie y propiedades magnéticas del metal base de los estándares de calibración deberán ser similares a aquellas del espécimen de prueba. Para confirmar si son adecuadas, se recomienda una comparación de las lecturas obtenidas del metal base del estándar de calibración no recubierto y aquel del espécimen de prueba no recubierto.

E.4.3.2 En algunos casos, la calibración del instrumento tiene que ser verificada mediante la rotación de la sonda en incrementos de 90° (Véase E.3.7 y E.3.8).

E.4.3.3 El espesor del metal base del espécimen de prueba y del estándar de calibración tiene que ser el mismo, si el espesor crítico, definido en E.3.3. Frecuentemente es posible respaldar el metal base del estándar de calibración o del espécimen de prueba con espesor suficiente de un metal similar para hacer las lecturas independientes del espesor del metal base.

E.4.3.4 Si la curvatura del recubrimiento que se va a medir es tal que impida la calibración sobre una superficie plana, la curvatura del estándar recubierto, o del substrato sobre el cual la calza de calibración es colocada, deberá ser la misma que la del espécimen de prueba.

E.5 Procedimiento.

E.5.1 General.

Opere cada instrumento de acuerdo con las instrucciones del fabricante, prestando atención a los factores mencionados en E.3.

Verifique la calibración del instrumento (véase E.3) en el sitio de prueba, cada vez que se utilice el instrumento, y a intervalos frecuentes durante el uso, para asegurar el desempeño apropiado.

Las siguientes precauciones deberán ser observadas.

E.5.2 Espesor del metal base.

Verifique si el espesor del metal base excede el espesor crítico. Si no, utilice el método de respaldo descrito en E.3.3 o asegúrese de que la calibración ha sido hecha bajo un estándar de calibración teniendo el mismo espesor y propiedades magnéticas del espécimen de prueba.



E.5.3 Efectos de borde.

No efectúe mediciones en las proximidades de una discontinuidad, tales como un borde, hueco, esquina interna de un espécimen de prueba, a menos que la validez de la calibración para tales instrumentos haya sido demostrada.

E.5.4 Curvatura.

No efectúe mediciones sobre una superficie curva de un espécimen de prueba, a menos que la validez de la calibración para tales mediciones haya sido demostrada.

E.5.5 Número de lecturas.

Debido a la variabilidad normal de los instrumentos, es necesario tomar varias lecturas por cada área de medición. Variaciones locales en el espesor del recubrimiento pueden también requerir que varias mediciones sean hechas en el área de referencia; esto se aplica particularmente si la superficie es rugosa.

Los instrumentos del tipo de fuerza atractiva son sensibles a las vibraciones y las lecturas que son evidentemente altas deberán ser eliminadas.

E.5.6 Dirección del trabajo mecánico.

Si la dirección del trabajo mecánico tiene un efecto pronunciado sobre la lectura, las mediciones sobre los especímenes de prueba deberán hacerse con la sonda en la misma dirección que la usada durante la calibración. Si es posible, haga cuatro mediciones en la misma área de medición mediante la rotación de la sonda con incrementos de 90°.

E.5.7 Magnetismo residual.

Si el magnetismo residual está presente en el metal base y si se usa un instrumento de dos polos, es necesario que emplee un campo magnético estacionario para hacer mediciones en dos orientaciones que difieran por 180°.

Podría ser necesario desmagnetizar el espécimen de prueba para obtener resultados válidos.

E.5.8 Recubrimientos de plomo.

Si se usan instrumentos del tipo de fuerza atractiva, los recubrimientos de plomo podrían pegarse al magneto. La aplicación de una película muy fina de aceite mejorará en general la repetitividad de las mediciones, pero aceite en exceso deberá ser limpiado de tal forma que la superficie esté prácticamente seca cuando se efectúen las mediciones con un indicador del tipo pull-off. No se deberá usar aceite sobre otro tipo de recubrimientos que no sean plomo.



E.5.9 Técnicas.

Los resultados obtenidos pueden depender de la técnica del operador. Por ejemplo, la presión aplicada a la sonda, o la rapidez de aplicación de una fuerza de equilibrio al magneto, variará de un individuo a otro. Tales efectos pueden ser reducidos o minimizados ya sea mediante la calibración del instrumento por el mismo operador que hará las mediciones, o mediante el uso de sondas de presión constante.

E.5.10 Posición de la sonda.

La sonda del instrumento deberá ser colocada perpendicularmente a la superficie de prueba en el punto de medición. Para algunos instrumentos del tipo de fuerza atractiva, esto es esencial. Con algunos instrumentos, sin embargo, es deseable inclinar la sonda ligeramente y seleccionar el ángulo de inclinación para dar la mínima lectura. Si, sobre una superficie lisa, los resultados obtenidos varían substancialmente con el ángulo de inclinación, es probable que la sonda esté desgastada y necesite ser remplazada.

E.6 Requerimientos de precisión.

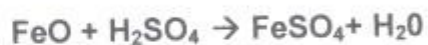
La calibración y operación del instrumento deberá ser tal que el espesor del recubrimiento pueda ser determinado dentro de un 10 % de su espesor real o dentro de 1,5 μm , el que sea mayor (véase E.5).



ANEXO 12

Uso de Ácido Sulfúrico H_2SO_4

Las reacciones involucradas en el decapado con H_2SO_4 son las siguientes para cada tipo de Óxido.



Al igual que en el Decapado con HCl las reacciones más importantes son:



Sulfato ferroso que saturan la solución

Esta reacción sólo consume y agota el ácido y destruye el acero. Se evita usando inhibidores

Gas hidrógeno que desprende el baño puede generar llamas y explosiones. El hidrógeno puede ser absorbido por el acero provocando problemas de fragilización





Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products¹

This standard is issued under the fixed designation A 123/A 123M; 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.

This specification covers the requirements for zinc coating (galvanizing) by the hot-dip process on iron and steel products made from rolled, pressed and forged shapes, castings, bars, and strips.

This specification covers both unfabricated products and fabricated products, for example, assembled steel products, structural steel fabrications, large tubes already bent or welded before galvanizing, and wire work fabricated from uncoated wire. This specification also covers steel forgings and iron castings incorporated into pieces fabricated before galvanizing which are too large to be centrifuged (or otherwise handled to remove excess galvanizing bath metal).

1—This specification covers those products previously addressed in specifications A 123-78 and A 386-78.

2 This specification does not apply to wire, pipe, tube, or sheet which is galvanized on specialized or continuous lines or to steel less than 22 gage (0.0299 in.) (0.76 mm) thick.

3 The galvanizing of hardware items that are to be centrifuged or otherwise handled to remove excess zinc (such as bolts and similar threaded fasteners, castings and rolled, pressed and forged items) shall be in accordance with Specification A 153/A 153M.

4 This specification is applicable to orders in either English-pound units (as A 123) or SI units (as A 123M). Inch-pound units and SI units are not necessarily exact equivalents. Both systems are shown in parentheses. Each system shall be used independently of the other without combining values in any manner. In the case of orders in SI units, all testing and inspection shall be done using the metric equivalent of the test or inspection method as appropriate. In the case of orders in SI units, such shall be stated to the galvanizer when the order is placed.

This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A05 on Metallic Coated Iron and Steel Products and is the direct responsibility of Subcommittee A05.13 on Structural Shapes and Hardware Specifications. Current edition approved October 10, 2001. Published December 1, 2001. Originally published as A 123 - 28 T. Last previous edition A 123 - 01.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 47YA 47M Specification for Ferritic Malleable Iron Castings²
- A 90/A 90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings³
- A 143 Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement³
- A 153/A 153M Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware³
- A 384 Practice for Safeguarding Against Warpage and Distortion During Hot-Dip Galvanizing of Steel Assemblies³
- A 385 Practice for Providing High-Quality Zinc Coatings (Hot-Dip)³
- A 780 Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings³
- A 902 Terminology Relating to Metallic Coated Steel Products³
- B 6 Specification for Zinc⁴
- B 487 Test Method for Measurement of Metal and Oxide Coating Thicknesses by Microscopical Examination of a Cross Section⁵
- B 602 Test Method for Attribute Sampling of Metallic and Inorganic Coatings⁵
- E 376 Practice for Measuring Coating Thickness by Magnetic-Field or Eddy-Current (Electromagnetic) Test Methods⁶

3. Terminology (See Fig. 1)

3.1 Definitions:

3.1.1 The following terms and definitions are specific to this specification. Terminology A 902 contains other terms and definitions relating to metallic-coated steel products.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *average coating thickness, n*—the average of three

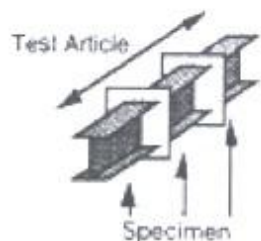
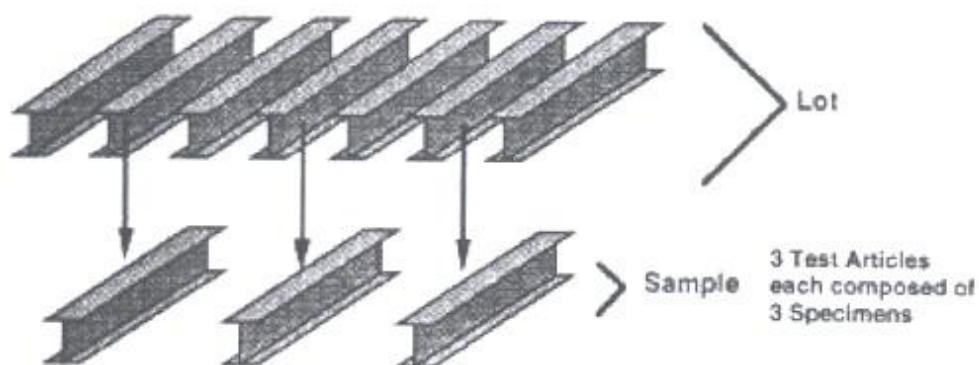
¹Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.
²Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.06.
³Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.04.
⁴Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.05.
⁵Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.



A123/A123M

Multi-Specimen Articles

Articles whose Surface Area is greater than 160 sq.in. (100,000 sq. mm)

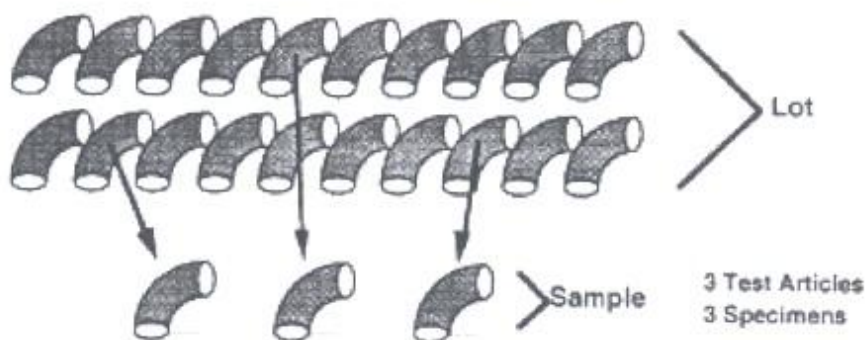


Each Specimen (5 or more measurements widely dispersed) must have Minimum Average Coating Thickness of (Table 1) -1 grade

Each Test Article in the Sample (3 Specimens each) must have Minimum Average Coating Thickness of (Table 1)

Single-specimen Articles

Articles whose Surface Area is equal to or less than 160 sq.in. (100,000 sq. mm)



Each Specimen (5 or more measurements widely dispersed) must have Minimum Average Coating Thickness of (Table 1) -1 grade

All Test Articles (Specimens) Together must have Minimum Average Coating Thickness of (Table 1)



FIG. 1 Single- and Multi-Specimen Articles

specimen coating thicknesses.

122 black, *adj*—denotes the condition of not galvanized or otherwise coated. For purposes of this specification the word

"black" does not refer to the color or condition of surface, or to a surface deposit or contamination. 3.2.3 coating thickness grade, *n*—the numerical value from

TABLE 1 Minimum Average Coating Thickness Grade by Material Category

Material Category	All Specimens Tested Steel Thickness Range (Measured), in. (mm)					
	<1/16 (<1.6)	1/16 to < 1/8 (1.6 to <3.2)	1/8 to 3/16 (3.2 to 4.8)	>3/16 to <1/4 (>4.8 to <6.4)	>1/4 (>6.4)	
Structural Shapes and Plate	45	65	75	85	100	
Strip and Bar	45	65	75	85	100	
Pipe and Tubing	45	45	75	75	75	
Wire	35	50	60	65	80	

Table 1 at the intersection of a material category and thickness range.

3.2.4 *gross cross inclusions, n*—the iron/zinc intermetallics present in a galvanized coating in a form other than finely dispersed pimples.

3.2.4.1 *Discussion*—These inclusions would create an embossed steel spot if they were removed from the coating. The inclusions are raised surfaces and are easily knocked through contact with lifting straps or chains, tools, fixtures, or other galvanized parts.

3.2.5 *material category, n*—the general class or type of material or process of manufacture, or both, that nominally describes a unit of product, or from which a unit of product is made. For example, bar grating belongs to the category "strip," and rail belongs to the category "pipe," etc.

3.2.6 *multi-specimen article, n*—a unit of product whose surface area is greater than 160 in.² (100 000 mm²). For thickness testing purposes, articles whose surface area is greater than 160 in.² are subdivided into three continuous local sections, nominally equal in surface area, each of which constitutes a specimen. In the case of any such local section containing more than one material category or steel thickness range as delineated in Table 1, that section will contain more than one specimen (see Fig. 1).

3.2.7 *sample, n*—a collection of individual units of product from a single lot selected in accordance with Section 7, and intended to represent that lot for acceptance. If a sample is used as representing the lot for acceptance, the sample shall be taken at random from the lot without regard to the perceived quality or appearance of any individual unit in the lot being sampled. The sample consists of one or more test articles.

3.2.8 *single-specimen article, n*—a unit of product whose surface area is equal to or less than 160 in.² (100 000 mm²) or that is centrifuged or otherwise similarly handled in the galvanizing process to remove excess galvanizing bath metal (see zinc). For thickness testing purposes, the entire surface area of each unit of product constitutes a specimen. In the case of any such article containing more than one material category or steel thickness range as delineated in Table 1, that article will contain more than one specimen (see Fig. 1).

3.2.9 *specimen, n*—the surface of an individual test article or a portion of a test article, upon which thickness measurements are to be performed, which is a member of a lot, or a member of a sample representing that lot. For magnetic thickness measurements, specimen excludes any area of the surface which is subject to processes (such as flame cutting, machining, threading, etc.) that can be expected to result in surface conditions not representative of the general surface condition of the test article, or is disqualified by the measurement method. The minimum average coating thickness grade for any specimen shall be one coating grade below that required for the appropriate material category and thickness in Table 1. For a unit of product whose surface area is equal to or less than 160 in.² (100 000 mm²), the entire surface area of each test article constitutes a specimen. In the case of an article containing more than one material category or steel thickness range as delineated in Table 1, that article will contain more than one specimen, as appropriate (see Fig. 1).

3.2.10 *specimen coating thickness, n*—the average thickness from no less than five test measurements on a specimen, when each measurement location is selected to provide the widest dispersion (in all applicable directions) of locations for the steel category of the test article within the confines of the specimen volume.

3.2.11 *test article, n*—an individual unit of product that is a member of the sample and that is examined for conformance to a part of this specification.

4. Ordering Information

4.1 Orders for coatings provided under this specification shall include the following:

4.1.1 Quantity (number of pieces to be galvanized) and total weight.

4.1.2 Description (type and size of products) and weight.

4.1.3 ASTM specification designation and year of issue.

4.1.4 Material identification (see 5.1) and surface condition or contamination.

4.1.5 Sampling plan, if different from 7.3.

4.1.6 Special test requirements (see 8.1).

4.1.7 Special requirements (special stacking, heavier coating weight, etc.).

4.1.8 Tagging or piece identification method.

5. Materials and Manufacture

5.1 *Steel or Iron*—The specification, grade, or designation and type and degree of surface contamination of the iron or steel in articles to be galvanized shall be supplied by the purchaser to the hot-dip galvanizer prior to galvanizing.

NOTE 2—The presence in steels and weld metal, in certain percentages of some elements such as silicon, carbon, and phosphorus tends to accelerate the growth of the zinc-iron alloy layer so that the coating may have a matte finish with little or no outer zinc layer. The galvanizer has only limited control over this condition. The mass, shape, and amount of cold working of the product being galvanized may also affect the condition. Practice A 385 provides guidance on steel selection and discusses the effects of various elements in steel compositions (for example, silicon), that influence coating weight and appearance.

5.2 *Fabrication*—The design and fabrication of the products to be galvanized are the responsibilities of the designer and the fabricator. Practices A 143, A 384, and A 385 provide guidance for steel fabrication for optimum hot dip galvanizing and shall be complied with in both design and fabrication. Consultation between the designer, fabricator, and galvanizer at appropriate stages in the design and fabrication process will reduce future problems.

5.3 *Castings*—The composition and heat treatment of iron and steel castings shall conform to specifications designated by the purchaser. Some types of castings have been known to show potential problems with predisposition to being embrittled during the normal thermal cycle of hot-dip galvanizing. It is the responsibility of the purchaser to heat treat or otherwise allow for the possibility of such embrittling phenomena. The requirements for malleable iron castings to be galvanized shall be as stated in Specification A 47.

5.4 *Zinc*—The zinc used in the galvanizing bath shall conform to Specification B 6. If a zinc alloy is used as the primary feed to the galvanizing bath, then the base material used to make that alloy shall conform to Specification B 6.



Bath Composition—The molten metal in the working zinc bath shall contain not less than an average value of 98.0 % zinc by weight.

6.1.3—The galvanizer may choose to add trace amounts of certain elements (for example, aluminum, nickel, and tin) to the zinc bath to help in the processing of certain reactive steels or to enhance the cosmetic appearance of the finished product. The use of these trace elements is optional provided that the bulk chemistry of the galvanizing bath is at least 98.0 % zinc by weight. The elements can be added to the galvanizing bath as part of a pre-alloyed zinc feed, or they can be added to the bath by the galvanizer using a master feed alloy.

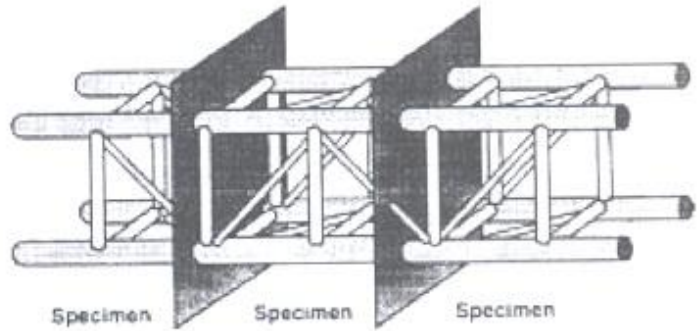
Coating Properties

6.1 Coating Thickness—The average thickness of coating on all specimens tested shall conform to the requirements of Table 1 for the categories and thicknesses of the material being galvanized. Minimum average thickness of coating for any individual specimen is one coating grade less than that required in Table 1. Where products consisting of various material thicknesses or categories are galvanized, the coating thickness grades for each thickness range and material category of material shall be as shown in Table 1. In the case of orders in metric units, the values in Table 1, shall be applicable as metric values in micrometres. In the case of orders in inch-pound units, the measured value shall be converted to coating grade by the use of Table 2. The specification of coating thicknesses heavier than those required by Table 1 shall be subject to mutual agreement between the galvanizer and the purchaser. (Fig. 2 is a graphic representation of the sampling and specimen delineation steps, and Fig. 3 is a graphic representation of the coating thickness inspection steps.)

6.1.1 For articles whose surface area is greater than 160 in.² (100 000 mm²) (multi-specimen articles), each test article in the sample must meet the appropriate minimum average coating thickness grade requirements of Table 1, and each specimen coating thickness grade comprising that overall average for each test article shall average not less than one coating grade below that required in Table 1.

6.1.2 For articles whose surface area is equal to or less than 160 in.² (100 000 mm²) (single-specimen articles), the average of all test articles in the sample must meet the appropriate minimum average coating thickness grade requirements of Table 1, and for each test article, its specimen coating thickness shall be not less than one coating grade below that required in Table 1.

6.1.3 No individual measurement, or cluster of measure-



NOTE 1—Each specimen comprises nominally one third of the total surface area of the article. A minimum of five measurements should be made within the volume of each specimen, as widely dispersed within that volume as is practical, so as to represent as much as possible, the general coating thickness within that specimen volume.

FIG. 2 Articles Made of Many Components

ments at the same general location, on a test specimen shall be cause for rejection under the coating thickness requirements of this specification provided that when those measurements are averaged with the other dispersed measurements to determine the specimen coating thickness grade for that specimen, the requirements of 6.1.1 or 6.1.2, as appropriate are met.

NOTE 4—The coating thickness grades in Table 1 represent the minimum value obtainable with a high level of confidence for the ranges typically found in each material category. While most coating thicknesses will be in excess of those values, some materials in each category may be less reactive (for example, because of chemistry or surface condition) than other materials of the steel category spectrum. Therefore, some articles may have a coating grade at or close to the minimum requirement shown in Table 1. In such cases, the precision and accuracy of the coating thickness measuring technique should be taken into consideration when rejecting such articles for coating thickness below that required by this specification. Purchasers desiring a guarantee of heavier coatings than the minimum thicknesses shown herein should use the special requirements (see 4.1.6) to specify coating thickness grades higher than those shown in Table 1. In addition, the purchaser should anticipate the need for test batches or extra preparation steps, or both, such as blasting before galvanizing or other methods, to attempt to reach the higher requirements with consistency. Some higher-than-standard thicknesses may be impractical or unattainable.

6.2 **Finish**—The coating shall be continuous (except as provided below), and as reasonably smooth and uniform in thickness as the weight, size, shape of the item, and necessary handling of the item during the dipping and draining operations at the galvanizing kettle will permit. Except for local excess

TABLE 2 Coating Thickness Grade^A

Coating Grade	mil	oz/ft ²	µm	g/m ²
	1.4	0.8	35	245
	1.8	1.0	45	320
	2.0	1.2	50	355
	2.2	1.3	55	390
	2.4	1.4	60	425
	2.6	1.5	65	460
	3.0	1.7	75	530
	3.1	1.9	80	565
	3.3	2.0	85	600
	3.9	2.3	100	705

^AThe values in micrometres (µm) are based on the Coating Grade. The other values are based on conversions using the following formulas: mil = µm x 0.03937; oz/ft² = µm x 0.02316; g/m² = µm x 7.067.



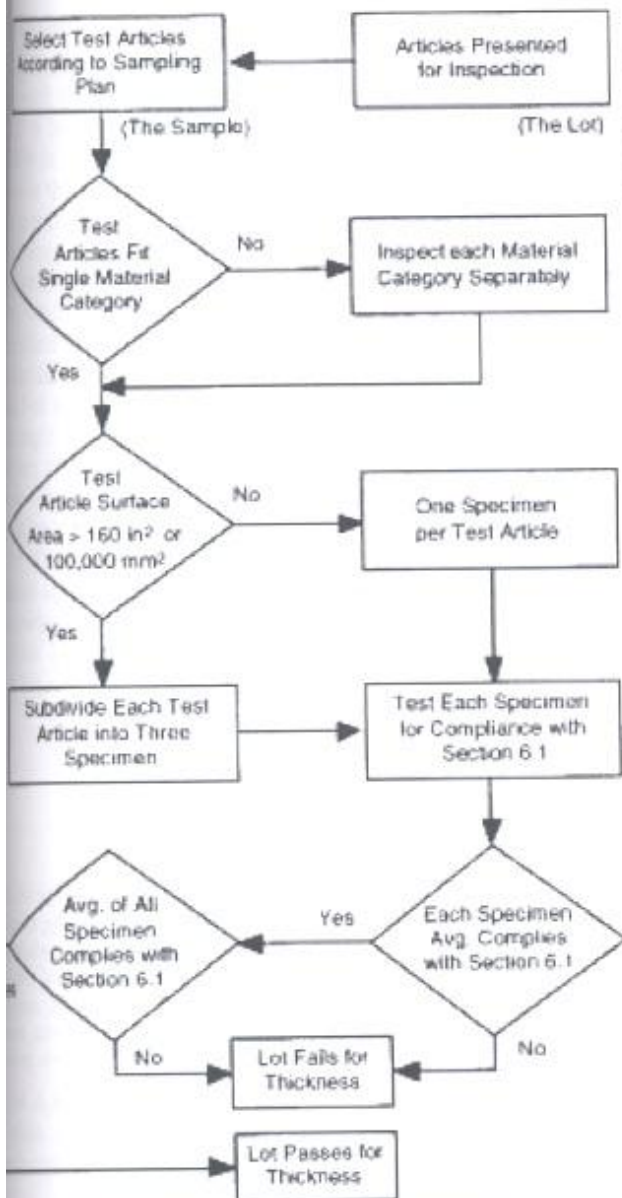


FIG. 3 Coating Thickness Inspection Steps

6.2.1 Each area subject to renovation shall be 1 in. (25 mm) or less in its narrowest dimension.

6.2.2 The total area subject to renovation on each article shall be no more than 1/2 of 1 % of the accessible surface area to be coated on that article, or 36 in.² per short ton [256 cm² per metric ton] of piece weight, whichever is less.

NOTE 5—Inaccessible surface areas are those which cannot be reached for appropriate surface preparation and application of repair materials as described in Practice A 780. Such inaccessible areas, for example, would be the internal surfaces of certain tanks, poles, pipes, tubes, and so forth.

6.2.3 The thickness of renovation shall be that required by the thickness grade for the appropriate material category and thickness range in Table 1 in accordance with the requirements of 6.1, except that for renovation using zinc paints, the thickness of renovation shall be 50 % higher than that required by Table 1, but not greater than 4.0 mils.

6.2.4 When areas requiring renovation exceed the criteria previously provided, or are inaccessible for repair, the coating shall be rejected.

NOTE 6—The requirements for the finish of a galvanized product address themselves to a visual type of inspection. They do not address the matter of measured coating thickness variations that can be encountered because of different steels or different thicknesses of a given steel being used in an assembly.

NOTE 7—Items which are prepared for galvanizing by abrasive cleaning will generally develop a thicker coating with a moderately rougher surface.

6.3 *Threaded Components in Assemblies*—The zinc coating on external threads shall not be subjected to a cutting, rolling, or finishing tool operation, unless specifically authorized by the purchaser. Internal threads are not prohibited from being tapped or retapped after galvanizing. Coatings shall conform to the requirements of Specification A 153/A 153M.

6.4 *Appearance*—Upon shipment from the galvanizing facility, galvanized articles shall be free from uncoated areas, blisters, flux deposits, and gross gross inclusions. Lumps, projections, globules, or heavy deposits of zinc which will interfere with the intended use of the material will not be permitted. Plain holes of 1/16-in. (1.5-mm) diameter or more shall be clean and reasonably free from excess zinc. Marks in the zinc coating caused by tongs or other items used in handling the article during the galvanizing operation shall not be cause for rejection unless such marks have exposed the base metal and the bare metal areas exceed allowable maximums from 6.2.1 and 6.2.2. The pieces shall be handled so that after galvanizing they will not freeze together on cooling.

NOTE 8—Depending upon product design or material thickness, both, filming or excess zinc buildup in plain holes of less than 1/16-in. (1.5-mm) diameter may occur that requires additional work to make the holes usable as intended.

6.5 *Adherence*—The zinc coating shall withstand handling consistent with the nature and thickness of the coating and the normal use of the article, without peeling or flaking.

NOTE 9—Although some material may be formed after galvanizing, in general the zinc coating on the articles covered by this specification is too heavy to permit severe bending without damaging the coating.

ing thickness which would interfere with the use of the duct, or make it dangerous to handle (edge tears or rips), rejection for nonuniform coating shall be made only for plainly visible excess coating not related to design features such as holes, joints, or special drainage problems (see Note 6). Since surface smoothness is a relative term, surface roughness that does not interfere with the intended use of the product, or roughness that is related to the received (un-galvanized) surface condition, steel chemistry, or steel reactivity to zinc shall not be grounds for rejection (see Note 7). Surface conditions related to deficiencies related to design, detailing, or fabrication as addressed by Practice A 385 shall not be grounds for rejection. The zinc coating on threaded components of articles galvanized under this specification shall conform to that required in Specification A 153/A 153M. Surfaces that remain uncoated after galvanizing shall be renovated in accordance with the methods in Practice A 780 unless directed by the purchaser to leave the uncoated areas untreated for subsequent renovation by the purchaser.



Sampling

7.1 Sampling of each lot shall be performed for conformance with the requirements of this specification.

7.2 A lot is a unit of production or shipment from which a sample is taken for testing. Unless otherwise agreed upon between the galvanizer and the purchaser, or established within this specification, the lot shall be as follows: For testing at a galvanizer's facility, a lot is one or more articles of the same size and size comprising a single order or a single delivery load, whichever is the smaller, or any number of articles certified as a lot by the galvanizer, when these have been galvanizd within a single production shift and in the same plant. For test by the purchaser after delivery, the lot consists of a single order or the single delivery load, whichever is the smaller, unless the lot identity, established in accordance with 7.1 above, is maintained and clearly indicated in the shipment by the galvanizer.

7.3 The method of selection and number of test specimens shall be agreed upon between the galvanizer and the purchaser. Otherwise, the test specimens shall be selected at random from the lot. In this case, the minimum number of specimens from the lot shall be as follows:

Number of Pieces in Lot	Number of Specimens
3 or less	all
4 to 500	3
501 to 1 200	5
1 201 to 3 200	8
3 201 to 10 000	13
10 001 and over	20

NOTE 10—Where a number of identical items

are to be galvanized, a statistical sampling plan may be desired. Such a plan is contained in Test Method B 602 which addresses sampling procedures for the inspection of electrodeposited metallic coatings and related finishes. If Test Method B 602 is used, the level of sampling shall be agreed upon between the galvanizer and the purchaser at the time the purchase order is placed.

7.4 A test specimen which fails to conform to a requirement of this specification shall not be used to determine the conformance to other requirements.

Test Methods

8.1 *Test Requirements*—The following tests shall be conducted to ensure that the zinc coating is being furnished in accordance with this specification. The specifying of tests for corrosion and embrittlement shall be subject to mutual agreement between the galvanizer and purchaser. Visual inspection of the coating shall be made for compliance with the requirements.

8.2 *Thickness of Coating Test*—The thickness of coating is determined by one or more of the three methods described as follows.

8.2.1 *Magnetic Thickness Measurements*—The thickness of coating shall be determined by magnetic thickness gage measurements in accordance with Practice E 376 unless the methods described in 8.2.2, 8.2.3, or 8.2.4 are used. For each specimen (as described in 3.2.9) five or more measurements shall be made at points widely dispersed throughout the surface occupied by the specimen so as to represent as much as practical, the entire surface area of the test specimen. The average of the five or more measurements thus made for each

specimen is the specimen coating thickness.

8.2.1.1 For articles whose surface area is greater than 160 in.² (100 000 mm²) (multi-specimen articles as described in 3.2.6), the average of the three specimen coating thickness grades comprising each test article is the average coating thickness for that test article. A specimen must be evaluated for each steel category and material thickness within the requirements for each specimen of the test article.

8.2.1.2 For articles whose surface area is equal to or less than 160 in.² (100 000 mm²) (single-specimen articles as described in 3.2.8), the average of all specimen coating thickness grades is the average coating thickness for the sample.

8.2.1.3 In the case of threaded components, the thickness of coating shall be made on a portion of the article that does not include any threads.

8.2.1.4 The use of magnetic measurement methods is appropriate for larger articles, and is appropriate for smaller articles when there is sufficient flat surface area for the probe tip to sit flat on the surface using Practice E 376.

8.2.2 *Stripping Method*—The average weight of coating shall be determined by stripping a test article, a specimen removed from a test article, or group of test articles in the case of very small items such as nails, etc., in accordance with Test Method A 90/A 90M unless the methods described in 8.2.1, 8.2.3, or 8.2.4 are used. The weight of coating per unit area thus determined is converted to equivalent coating thickness values in accordance with Table 2 (rounding up or down as appropriate). The thickness of coating thus obtained is the test article coating thickness, or in the case of a specimen removed from a test article, is the specimen average coating thickness.

8.2.2.1 The stripping method is a destructive test and is appropriate for single specimen articles, but is not practical for multi-specimen articles.

8.2.3 *Weighing Before and After Galvanizing*—The average weight of coating shall be determined by weighing articles before and after galvanizing, subtracting the first weight from the second and dividing the result by the surface area unless the methods described in 8.2.1, 8.2.2, or 8.2.4 are used. The first weight shall be determined after pickling and drying and the second after cooling to ambient temperature. The weight of coating per unit area thus determined is converted to equivalent coating thickness values according to Table 2 (rounding up or down as appropriate). The thickness of coating thus obtained is the test article coating thickness.

8.2.3.1 The weighing before and after method is appropriate for single-specimen articles, but is not practical for multi-specimen articles.

NOTE 11—Both the stripping method and the weighing before and after method do not take into account the weight of iron reacted from the article that is incorporated into the coating. Thus, the methods may underestimate coating weight (and therefore the calculated thickness) by up to 10%. The accuracy of both methods will be influenced by the accuracy to which the surface area of the articles tested can be determined.

8.2.4 *Microscopy*—The thickness of coating shall be determined by cross-sectional and optical measurement in accordance with Test Method B 487 unless the methods described in 8.2.1, 8.2.2, or 8.2.3 are used. The thickness thus determined is

ent value. No less than five such measurements shall be taken at locations on the test article which are as widely dispersed as practical, so as to be representative of the whole size of the test article. The average of no less than five such measurements is the specimen coating thickness.

14.1 The microscopy method is a destructive test and is appropriate for single-specimen articles, but is not practical for multi-specimen articles.

15 *Referee Method*—In the event of a dispute over accuracy of coating measurements, the dispute shall be resolved as follows:

15.1 For multi-specimen articles, a new sample shall be selected randomly from the lot of material, which has twice the number of test articles as the sample which failed to conform to the specification. If the lot size is such that the sample size cannot be doubled, then the sample size shall be as previous, and the number of widely dispersed sites at which measurements were made shall be doubled, and these sites will constitute the new sample. This new sample shall be measured with magnetic thickness gages which have been calibrated for accuracy against reference material thickness standards. If the lot is found to be nonconforming by the new sample, the galvanizer has the right to sort the lot for conforming articles by individual test, to re-galvanize non-conforming articles, or to renovate the nonconforming articles in accordance with 6.2.

15.2 For single-specimen articles, a new sample shall be selected randomly from the lot of material, which has twice the number of test articles as the sample which failed to conform to the specification. The test method for the new sample shall be selected by mutual agreement between the purchaser and the galvanizer. If the lot is found to be nonconforming by the new sample, the galvanizer has the right to sort the lot for conforming articles by individual test, to re-galvanize nonconforming articles, or to renovate the nonconforming articles in accordance with 6.2.

Adhesion—Determine adhesion of the zinc coating to the surface of the base metal by cutting or prying with the point of a utility knife, applied with considerable pressure in a manner designed to remove a portion of the coating. The adhesion shall be considered inadequate if the coating flakes off in the form of a chip of the coating so as to expose the base metal in advance of the knife point. Do not use testing carried out at edges or corners (points of lowest coating adhesion) to determine the adhesion of the coating. Likewise, do not use removal of small pieces of the coating by paring or whittling to determine adhesion.

Embrittlement—Test for embrittlement shall be made in accordance with Practice A 143. These tests shall not be required unless strong evidence of embrittlement is present.

Inspection, Rejection, and Retest

Inspection by the Galvanizer—It is the responsibility of the galvanizer to ensure compliance with this specification.

This shall be achieved by an in-plant inspection program designed to maintain the coating thickness, finish, and appearance within the requirements of this specification unless the inspection is performed in accordance with 9.2.

9.2 *Inspection By the Purchaser*—The purchaser shall accept or reject material by inspection either through the galvanizer's inspector, the purchaser's inspector, or an independent inspector. The inspector representing the purchaser shall have access at all times to those areas of the galvanizer's facility which concern the application of the zinc coating to the material ordered while work on the contract of the purchaser is being performed. The galvanizer shall afford the inspector all reasonable facilities to satisfy himself that the zinc coating is being furnished in accordance with the specification.

9.3 *Location*—The material shall be inspected at the galvanizer's plant prior to shipment. However, by agreement the purchaser is not prohibited from making tests which govern the acceptance or rejection of the materials in his own laboratory or elsewhere.

9.4 *Reinspection*—When inspection of materials to determine conformity with the visual requirements of 6.2 warrants rejection of a lot, the galvanizer is not prohibited from sorting the lot and submit it once again for acceptance after he has removed any nonconforming articles and replaced them with conforming articles.

9.5 The sampling plan that was used when the lot was first inspected shall be used for resampling of a sorted lot. By mutual agreement, the galvanizer is not prohibited from submitting the lot remaining after sorting and removing nonconforming articles without replacement of the nonconforming articles. In such case, the now-smaller lot shall be treated as a new lot for purposes of inspection and acceptance.

9.6 Materials that have been rejected for reasons other than embrittlement are not prohibited from being stripped and regalvanized and again submitted for inspection and test at which time they shall conform to the requirements of this specification.

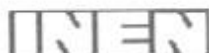
10. Certification

10.1 When specified in the purchase order or contract, the purchaser shall be furnished certification that samples representing each lot have been either tested or inspected as directed by this specification and the requirements have been met. When specified in the purchase order or contract, a report of the test results shall be furnished.

II. Keywords

11.1 coatings—zinc; galvanized coatings; steel products—metallic coated; zinc coatings—steel products





INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 672:2009
Primera revisión

RECUBRIMIENTOS DE ZINC POR INMERSION EN CALIENTE SOBRE ELEMENTOS DE SUJECIÓN. REQUISITOS GENERALES.

Primera Edición

FOR HOT DIP GALVANIZING ON SUBJETION ELEMENTS. GENERAL REQUIREMENTS.

First Edition



DESCRIPTORES: Tratamiento y recubrimiento de superficies, galvanización por inmersión en caliente, recubrimiento de zinc, acero galvanizado, hierro galvanizado, requisitos.

MT 05.01-404

CDU: 669.586.5:620.198

CIU: 3720

ICS: 25.220.40

Norma Técnica
Ecuatoriana
Obligatoria

RECUBRIMIENTOS DE ZINC POR INMERSION EN
CALIENTE SOBRE ELEMENTOS DE SUJECIÓN.
REQUISITOS GENERALES

NTE INEN
672:2009
Primera revisión
2009-02

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los recubrimientos de zinc aplicados por inmersión en caliente sobre elementos de sujeción.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica para recubrimientos de zinc por inmersión en caliente sobre elementos o piezas de sujeción de acero y hierro en forma general que son centrifugadas o se manipulan de otra manera para remover excesos de metal del baño de galvanizado (zinc libre).

2.2 Esta norma no aplica a productos específicos con recubrimiento en particular, tales como: alambre, clavos, tubo, perfiles o lámina sin procesar.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se aplican las definiciones contempladas en las NTE INEN 610, 1244 y las siguientes:

3.1.1 *Recubrimiento de zinc por inmersión.* Es la aplicación de zinc por inmersión de los objetos en zinc fundido, proceso en el cual pueden formar aleaciones del metal base con zinc. En determinadas circunstancias, toda la capa de recubrimiento puede estar constituida por tales aleaciones y presentar apariencia gris-mate.

3.1.2 *Espesor de capa promedio.* El promedio de los valores de espesor de capa del espécimen para las muestras en el lote de inspección.

3.1.3 *Lote de inspección.* La cantidad de piezas idénticas limpiadas, sumergidas y galvanizadas simultáneamente en un contenedor apropiado que esta siendo sometida a aceptación como un grupo.

3.1.4 *Mancha negra.* Área descubierta sobre la superficie de una parte de acero o elemento que no contiene capa de zinc medible.

3.1.5 *Tomillería.* Este término abarca accesorios tales como: tornillos, tuercas, pernos, pasadores y arandelas.

4. SIMBOLOGIA

4.1 En esta norma se utilizan los siguientes símbolos:

\bar{s} = espesor de recubrimiento promedio (μm)

s = espesor de recubrimiento (local) (μm)

m_A = masa por unidad de superficie (g/m^2)



(Continúa)

DESCRIPTORES: Tratamiento y recubrimiento de superficies, galvanización por inmersión en caliente, recubrimiento de zinc, acero galvanizado, hierro galvanizado, requisitos.

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 El diseño y la fabricación de los productos quedan a criterio y responsabilidad del fabricante (ver Anexo A).

5.2 Por acuerdo entre el comprador y el proveedor de galvanizado, el comprador tendrá acceso a las instalaciones donde se lleve a cabo el recubrimiento por inmersión, para constatar que se aplica la capa de zinc de acuerdo a esta norma.

6. REQUISITOS

6.1 Requisitos específicos

6.1.1 Materiales

6.1.1.1 Zinc. El zinc utilizado como materia prima para el baño de inmersión no debe contener menos del 98,5% (Prime western) en masa de zinc.

El contenido de aluminio en el baño de zinc durante el proceso de recubrimiento, no debe exceder el 0,01%. El contenido de aluminio se comprobará de acuerdo a las prácticas industriales más reconocidas, hasta la aparición de la Norma INEN respectiva.

El análisis de las impurezas en el baño debe efectuarse en muestras que sean combinación de probetas tomadas de la siguiente manera: una del centro del crisol y dos de los extremos opuestos del mismo, sobre el mismo eje longitudinal. Las muestras deben tomarse a una profundidad por lo menos de 50 mm bajo la superficie del zinc y no más del 25% de la profundidad del crisol. Las muestras de los extremos estarán separadas de las paredes del crisol por lo menos 50 mm y no más del 12% del eje longitudinal.

6.1.2 Metal base

6.1.2.1 Para recubrir con zinc por inmersión en caliente son adecuados los materiales férricos sin elementos de aleación, de bajo contenido de carbono, efervescentes o calmados; de alta resistencia y baja aleación y aceros moldeados, así como las fundiciones gris y nodular.

6.1.2.2 En caso de acuerdo entre el comprador y proveedor de galvanizado, el comprador debe proporcionar la información necesaria del tipo de acero empleado en la fabricación de las piezas, en especial si se trata de aceros con aleación; además debe proveer, muestras del material usado

6.2 Masa por unidad de superficie

6.2.1 La masa, por metro cuadrado resultado de la sumatoria del espesor de zinc medido en ambas caras, debe cumplir con los requisitos mínimos de la tabla 1, tanto para el valor promedio mínimo, como para el valor individual mínimo, a menos que hayan convenido otra cosa entre las partes interesadas. Los tipos de producto que no se mencionan en la tabla 1 deben someterse al acuerdo de las partes interesadas indicando su masa y espesor.

Ejemplos:

1. Muestras: cinco piezas de diámetro mayor a 9 mm, cuyas masas individuales son: 410 g/m²; 390 g/m²; 290 g/m²; 400 g/m²; 410 g/m², masa promedio de recubrimiento; 380 g/m².

La masa promedio por unidad de superficie está dentro de los límites de la tabla 1. Sin embargo, los requisitos no han sido cumplidos, ya que la masa individual para una probeta (subrayada) está bajo el valor mínimo individual para la masa por unidad de superficie.

2. Muestras: cinco piezas de acero de más de 5 mm de espesor, con masas individuales: 500 g/m²; 490 g/m²; 470 g/m²; 480 g/m²; 470 g/m², masa promedio de recubrimiento: 482 g/m².

La masa individual por unidad de superficie de cada probeta es mayor que el mínimo de la tabla 1. El valor promedio es, sin embargo, menor que el establecido y, por tanto, no se cumple el requisito especificado.

TABLA 1. Espesor y peso (masa) del recubrimiento de zinc para varias clases de materiales

Clase de material	Peso mínimo del recubrimiento de zinc, en (g/m ²) de superficie		Espesor de recubrimiento mínimo, en micras (μm)	
	Promedio de especímenes probados	Cualquier espécimen individual	Promedio de especímenes probados	Cualquier espécimen individual
Clase A Fundición de hierro maleable, acero	610	550	86	79
Clase B Elementos laminados, pretensados y forjados (excepto aquellos que se pueden incluir en la clase C y D)				
B-1 4,76 mm y mayores en espesor a 381 mm en longitud	610	550	86	79
B-2 menores a 4,76 mm en espesor y mayores a 381 mm en longitud	458	381	66	53
B-3 Cualquier espesor y menor o igual a 381 mm en longitud	397	336	56	48
Clase C Elementos de fijación mayores a 9,52 mm en diámetro y elementos similares. Arandelas entre 4,76 mm y 6,35 mm en espesor	381	305	53	43
Clase D elementos de fijación de 9,52 mm y menores en diámetro, remaches, clavos y elementos similares. Arandelas de 4,76 mm en espesor	305	259	43	36

NOTA: la longitud de la pieza indicada en las clases B-1, B-2 y B-3, se refieren a la dimensión de acabado de la pieza después de su fabricación.

6.2.2 La masa por unidad de superficie se determinará de acuerdo a la NTE INEN 1 172. En los casos en que este ensayo no sea aplicable, se pueden utilizar otros ensayos con el acuerdo de las partes interesadas.

6.2.3 En caso de necesidad, se determinará el espesor de revestimiento local "s", por medios magnéticos, de acuerdo a la NTE INEN 602 y se obtendrá el espesor promedio "s^o". Para casos en los cuales no se requiere mayor exactitud, el espesor promedio "S" se calculará con la siguiente fórmula:

$$S \cong \frac{m_A}{7,067} (\mu\text{m})$$

(Continúa)

6.3 Distorsiones

6.3.1 El aparecimiento de distorsiones en artículos sometidos a inmersión en caliente, como resultado de la elevación de temperatura, así como el aparecimiento de rajaduras en el material base, causado por expansión y contracción térmica, deben evitarse en lo posible, pero, en todo caso, no deben atribuirse a defectos en el proceso de inmersión en caliente, ni se responsabilizará a quién lo aplique. Para evitar los efectos de distorsión véase las recomendaciones del Anexo A.

6.3.2 De acuerdo a la NTE INEN 1 171 realizar el ensayo de Preece, (Disolución de sulfato de cobre), previo acuerdo en el número de inmersiones que debe soportar el recubrimiento antes de la aparición de discontinuidades. No se deben tomar en cuenta los depósitos de cobre metálico a una distancia menor de 25 mm de los bordes cortados.

6.4 Adherencia. El recubrimiento de zinc debe adherirse tenazmente a la superficie del metal base. La adherencia se comprobará de acuerdo al producto que se trate, en conformidad con uno de los ensayos de la NTE INEN 950. En general, no debe ser posible desprender partes del recubrimiento por cualquiera de los métodos que se utilizase, y tan solo debe ser posible remover pequeñas partículas del recubrimiento, en la superficie del mismo.

7. MÉTODOS DE ENSAYO PARA MEDIR LA ADHERENCIA

7.1 Método de cruz. La determinación de la adherencia del recubrimiento de zinc a la superficie del metal base se hace por un movimiento de corte en cruz a 90 grados con la punta de una navaja aplicando considerable presión de una manera dirigida a remover una porción del recubrimiento, la adherencia debe ser considerada inadecuada si existe desprendimiento del recubrimiento en forma de capa en la intersección de la cruz que exponga el metal base, no se debe realizar el ensayo en los puntos de baja adherencia como son los filos y-o ángulos.

8. APARIENCIA

8.1 Los objetos recubiertos de zinc por inmersión deben presentar apariencia homogénea, sin manchas negras o de óxido, sin depósitos blanquizcos, sin rajaduras ni ampolladuras e inclusiones de escoria propias del proceso de galvanización. El Anexo D establece las recomendaciones para localizar las causas de defectos de apariencia para remediarlas.

8.2 Uniformidad. La distribución del recubrimiento sobre toda la superficie significativa se determinará por inspección visual. Si las irregularidades superficiales son de tal magnitud, que en opinión del inspector no basta la inspección visual, se procederá a realizar por lo menos uno de los ensayos normalizados establecidos en esta norma y en la NTE INEN 950, según el acuerdo de las partes interesadas:

- a) De acuerdo a la NTE INEN 602 se determinará el espesor de recubrimiento en cinco puntos mínimos, y preferentemente 10 o más. Los puntos en que se tomen las mediciones deben acordarse, según la forma de la pieza. Las lecturas no deben diferir del espesor calculado según el numeral 6.3.3 en más de 25%.

8.3 Indicación del recubrimiento en un grafico. La indicación en dibujos se efectuará en el rotulado, cuando el recubrimiento se aplique a toda la pieza. Si se trata de piezas compuestas donde algunas son recubiertas, o reciben diferente recubrimiento, éste se indicará de acuerdo a la figura 1, en similitud a las indicaciones para tratamientos térmicos establecidos en el "Código de Práctica para dibujo técnico mecánico"

8.4 Fragilidad

8.4.1 El fragilitamiento de los productos recubiertos de zinc puede tener origen en las siguientes causas: tipo de metal base, deformaciones en frío, decapado (desengrase). Estos factores se analizan en el Anexo B.

(Continúa)

8.4.2 En caso de necesidad, y por acuerdo de las partes interesadas, se llevarán a cabo los ensayos descritos en el Anexo C. En artículos pequeños (ensayo C.1) no deben presentarse fractura ni rajaduras o grietas del metal base. En artículos de dimensiones mayores (ensayo C.2) (estructuras, p.e), luego de efectuado el ensayo, la elongación no debe ser menor al 5%; de ser menor la elongación, la suma del porcentaje de ésta más la reducción porcentual promedio del espesor, no debe ser menor a 10.

9. TRATAMIENTOS POSTERIORES

9.1 Los objetos recubiertos de zinc por inmersión en caliente podrán recibir un tratamiento posterior en la superficie, ya sea para pasivación, protección para el transporte, preparación para pintar, o para mejorar la protección de la corrosión como por ejemplo el Cromatizado de acuerdo a la NTE INEN 673

9.2 La ausencia de abreviatura al designar el recubrimiento indica que no se aplicará ningún tratamiento posterior (ver 9.3).

9.3 Abreviatura

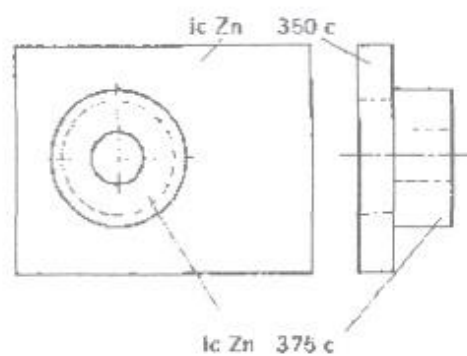
9.3.1 Un recubrimiento de zinc aplicado por inmersión se designará abreviadamente del modo siguiente:

- a) Fe – (o designación del acero) metal base.—Fe
- b) ic – por "Inmersión en caliente"-----ic
- c) Zn – Zinc -----Zn
- d) masa por unidad de superficie (g/m^2)-----350
- e) tratamiento posterior (cromatizado)-----c
- f) Pasivado-----P

9.3.2 Se indicará el recubrimiento seguidamente de la abreviatura de la pieza al tratarse de piezas normalizadas

9.3.3 Ejemplo: clavo tipo 11 según NTE INEN 611, con recubrimientos de zinc por inmersión de masa por unidad de superficie de $200 g/m^2$, cromatizado, Abreviación -Clavo 11 - NTE INEN 611 - Fe - ic Zn 200c

FIGURA 1. Indicación de recubrimiento en dibujos



10. INSPECCIÓN

10.1 Muestreo

10.1.1 El muestreo y aceptación se lo realizara de acuerdo a la tabla 2.



(Continúa)

TABLA 2. Plan de muestreo

Tamaño del lote número de piezas	Tamaño de la muestra	Número de defectuosos máximo aceptable	Número de defectuosos mínimo para rechazo
Hasta 8	2	1	2
9 a 15	3	1	2
16 a 25	5	1	2
26 a 50	8	2	3
51 a 90	13	3	4
91 a 150	20	5	6
151 a 280	32	7	8
281 a 500	50	10	11
501 a 1200	80	14	15
1201 a 3200	125	14	15
3201 a 10000	200	14	15
10001 a 35000	315	21	22

10.1.2 El plan de muestreo a emplearse para aprobar o rechazar un lote está determinado por un Plan de Muestreo Simple, Nivel de Inspección Especial S1, Inspección Normal y un AQL del 10%, conforme con lo establecido en la NTE INEN 255.

10.1.3 El lote se acepta si todos los ensayos o determinaciones de verificación fueren satisfactorios.

10.2 Embalaje

10.2.1 Los artículos recubiertos de zinc por inmersión se deben embalar de manera que se asegure la recepción en condiciones satisfactorias para el comprador.

10.2.2 El tipo de embalaje para cada producto específico se establece en las NTE INEN correspondientes.



(Continúa)

ANEXO A

PRECAUCIONES PARA EVITAR DISTORSION DURANTE LA APLICACION DE
RECUBRIMIENTOS DE ZINC POR INMERSION

A.1 Distorsiones

A.1.1 Los conjuntos y estructuras de acero fabricados por soldadura de elementos, que deben ser recubiertos de zinc por inmersión, están sujetos a distorsiones del material base, debidas al calentamiento y posterior enfriamiento pertinentes al proceso de recubrimiento, especialmente cuando es necesario la inmersión en el baño por repetidas veces, para cubrir toda la superficie.

A.1.2 Las piezas distorsionadas con mayor frecuencia, son las constituidas por partes de chapa inferiores a 6 mm de espesor, que se han sometido a procedimiento de soldadura o remachado, para unirlos a estructuras metálicas hechas de perfiles (ángulos, tes, etc.).

A.1.3 La distorsión es acentuada mayormente por el uso de perfiles no simétricos (p.e. canales). En casi todos los casos, sin importar el tamaño, los canales requieren enderezado después de la inmersión en caliente. Esto no se aplica a perfiles simétricos, como son: vigas -I, tubos, vigas -H etc, u otras secciones simétricas con relación a su eje mayor. Por tanto, al diseñar, deben evitarse los canales y otros perfiles asimétricos, especialmente si deben unirse a chapa metálica.

A.1.4 Se recomienda radios amplios en los dobleces y esquinas, especialmente para chapa doblada en ángulo recto. Debe evitarse la esquina aguda y proveerse del radio mayor posible.

A.2 Recomendaciones para estructuras amazones y paneles fabricados de perfiles y chapa.

A.2.1 Los perfiles seleccionados deben estar tan rectos como sea posible obtener.

A.2.2 Los perfiles deben colocarse en la posición correcta previa a la soldadura, sin someterlos a tensiones para que adopten tal posición, de manera que los extremos que formen esquinas y ángulos, queden en posición sin esfuerzo. Las piezas se sujetarán mediante prensas u otros dispositivos, sólo para prevenir que se muevan durante la operación de soldadura.

A.2.3 Los perfiles de refuerzo se colocarán en la posición debida, sujetándolos para evitar que se muevan a posiciones de tensión al aplicar el electrodo de suelda. Se debe además evitar al máximo la deformación de los miembros soldados, como efecto del calentamiento aplicado por la soldadura.

A.2.4 Los bordes de piezas que van juntas deben soldarse integramente observando las técnicas necesarias para evitar deformaciones por calor. Esto es preciso, ya que así se evita que queden lugares abiertos, donde el zinc no puede circular para producir el recubrimiento, dejando por tanto lugares abiertos a la corrosión.

A.2.5 La chapa no debe soldarse al perfil antes de la inmersión en caliente si la cuba donde se halla el baño no es lo suficientemente grande para permitir la total inmersión del conjunto en una sola vez. Si la armazón debe sumergirse en dos o tres operaciones, es preferible tener la chapa de los paneles recubierta por separado, y efectuar la unión mediante aleaciones de aluminio o remaches revestidos de zinc. Los remaches serán de preferencia avellanados de cabeza plana perdida. Los perfiles y chapas serán perforados antes de la inmersión en caliente, y al ensamblarlos se evitará el uso de pasadores de aleación que puedan destruir o dañar el recubrimiento en las perforaciones. En el caso que exista un procedimiento de reparación hacer referencia a la Norma ASTM A 385.

A.2.6 Si la cuba de inmersión es tan grande que permitiría la operación de recubrimiento en una sola vez, no se recomienda efectuarla, ya que de todas maneras quedarán superficies sin recubrir en las áreas cercanas a los de contacto de remachado o soldadura por puntos de la chapa al perfil, y, por tanto, se presentará corrosión rápidamente por efecto del baño de desengrase (ácido).

A.2.7 Procurar no usar perfiles de espesor diverso, para evitar distorsiones por efecto de dilataciones y tiempos desiguales de enfriamiento.

(Continúa)

ANEXO B

FACTORES DE LA FRAGILIDAD CAUSADA POR INMERSION EN CALIENTE

B.1 Tipo de metal base

B.1.1 Para utilizarse con recubrimientos de zinc aplicados por inmersión en caliente, deberán preferirse aceros que correspondan a fabricaciones por solera abierta, chorro de oxígeno de horno eléctrico y, en la mayoría de los casos, deberá preverse el recocido a piezas que han sido producidas por métodos de deformación en frío. Los aceros de solera abierta y los de chorro de oxígeno deberán tener el contenido de carbono, y fósforo tan bajo como sea practicable. Los aceros Bessemer no deben usarse nunca para piezas formadas en frío, que después no puedan recocerse antes de la inmersión en el baño de zinc. En general, el contenido de carbono del acero no debe exceder 0,25% para piezas formadas por deformación en frío.

B.1.2 Los aceros varían en cuanto a su susceptibilidad al fragilitamiento por la inmersión en baño caliente. Los aceros calmados (Al) son menos susceptibles, mientras que la presencia de silicio en aceros efervescentes semicalmados no es recomendable, ya que están sujetos a fragilitamiento en secciones grandes y dobleces pronunciados.

B.1.3 Los aceros de grano grueso son más propensos a fragilizarse que los de grano fino. Para mantener la resistencia al impacto, los aceros calmados (Al - desoxidados) deberían ser preferidos, con normalización después del laminado para mantener el grano fino de la estructura. La resistencia al impacto de aceros semicalmados y efervescentes, también pueden incrementarse por normalización después del laminado.

B.1.4 La fundición maleable y la nodular (con grafito esferoidal) será fragilizada con toda seguridad al sumergirla en el baño de zinc a 454°C. La composición química de la fundición de hierro, particularmente el fósforo y el silicio contenidos, son factores importantes para la fragilización. Las piezas de fundición de hierro maleable son más susceptibles a volverse frágiles durante la inmersión en el baño, cuando han sido sometidas previamente a prolongado recocido y lento enfriamiento.

B.1.5 Las piezas fundidas deben fabricarse con una composición tal que la posibilidad de fragilización dentro del rango de calentamiento sea mínima. De lo contrario, deberán prácticamente "inmunizarse" al fragilitamiento por inmersión en el baño de zinc, mediante rápido enfriamiento después de alcanzado los 676°C (preferible con agua) después de coladas.

B.2 Deformación en frío

B.2.1 Las propiedades mecánicas de los aceros se modifican al deformarlos en frío. La dureza aumenta y la fragilidad también. Las deformaciones en frío se producen en proceso de laminado, estirado, embutido, doblado, punzado, cortado, etc. Por esta razón, todas las piezas fabricadas de chapa o perfiles deberán someterse a recocido o alivio de tensiones antes de la aplicación de recubrimiento. Durante la inmersión en caliente no se producen serias pérdidas de ductibilidad, a menos que el material haya sido previamente sometido a tensiones repartidas desigualmente.

B.2.2 Los perfiles y planchas laminadas de menos de 15 mm pueden ser deformados en frío por punzonado, sin necesidad de tratamiento posterior. Los mayores a 15 mm deberán ser rimados o perforados con broca, posteriormente al punzonado.

B.3 Prácticas de decapado

B.3.1 La absorción de hidrógeno durante el proceso de decapado tiene un efecto mayor en el fragilitamiento del acero. La rugosidad de la superficie, causada por el decapado, es, además, causa de fragilitamiento. El efecto de fragilización será mayor para más alta temperatura del baño de decapado, así como para mayor tiempo de inmersión.

B.3.2 Se puede obtener una eliminación completa de los efectos del hidrógeno absorbido, por prolongado calentamiento a 150°C, después del decapado.

B.3.3 En cierto tipo de productos, puede resultar ventajoso reemplazar el decapado por desengrase mediante chorro abrasivo o de arena, lo cual evitará la absorción de hidrógeno y consecuentemente la fragilización.

ANEXO C

DETERMINACION DE LA PRESENCIA DE FRAGILIDAD POR HIDROGENO

C.1 Método de ensayo para artículos pequeños.

C.1.1 De acuerdo a la forma y tamaño de los artículos, se ensayará una probeta según uno de los procedimientos siguientes:

- a) Sujetar firmemente la probeta en una mordaza, y golpearla con un martillo de 1 kg. La fractura de la probeta denota, al primer golpe fuerte, fragilidad del material. A este ensayo pueden someterse probetas de materiales cuya resistencia a dichos impactos es alta. Se excluyen, por tanto, materiales que normalmente son frágiles (fundición de hierro, por ejemplo), tornillos recubiertos por inmersión en caliente, u otras piezas obtenidas por estampado o forjado, serán ensayados por doblado de la sección longitudinal, por 180° sobre un mandril de diámetro igual a tres veces mayor que el de la probeta. La fractura indica presencia de fragilidad por hidrógeno.

FIGURA 2

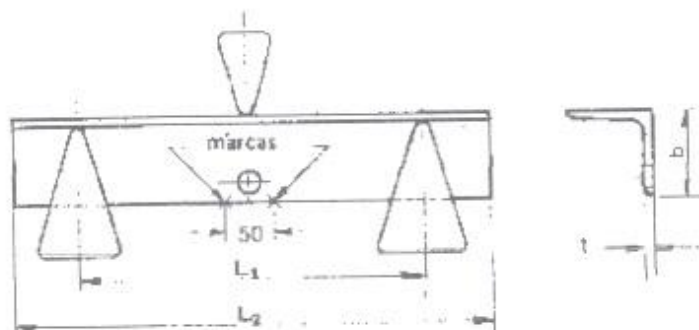


FIGURA 3



C.2 Método de ensayo para elementos estructurales

C.2.1 De acuerdo con la figura 2, marcar con un granete (punto) dos puntos separados 50 mm entre sí, centrados respecto a la perforación practicada en la probeta. Aplicar la carga sobre la sección que contiene la perforación y la longitud marcada. Después de la rotura, medir con aproximación de 0,25 mm la distancia de cada una de las marcas a la sección de la fractura, sumar las distancias medidas y calcular el alargamiento porcentual que corresponda. Para probetas con espesor menor a 12 mm, o para aquellas en las cuales la distancia del borde de la perforación al borde inferior de la probeta sea menor a 10 mm, utilizar una distancia de medición de 25 mm entre las dos marcas.

C.2.2 Para el cálculo de la reducción porcentual del espesor después de la fractura, éste debe medirse con un micrómetro con sensores esféricos en los puntos señalados en la figura 3. El valor de la reducción porcentual se determina del promedio de las tres mediciones, respecto al valor del espesor original antes del ensayo.

(Continúa)

C.2.3 La tabla siguiente establece las medidas recomendadas para la disposición del ensayo:

TABLA 3.

Dimensión del perfil angular (b) mm	L1	L2
≤ 100	350	460
$> 100 \leq 150$	510	610
$> 150 \leq 200$	760	915

C.2.4 La perforación debe practicarse de acuerdo al método usual de aplicación. Los valores dimensionales posición, diámetro y acabado, deben ser equivalentes a los empleados en servicio.

C.2.5 El ensayo debe llevarse a cabo a temperaturas de la probeta entre 15 y 32°C, utilizando una máquina universal de ensayos.

(Continúa)

ANEXO D

DEFECTOS DE APARIENCIA, SUS CAUSAS Y CORRECCIÓN

Defecto	Causa	Corrección recomendada
Picaduras puntuales (hoyos)	Residuos de pintura o aceite	Controlar las operaciones de limpieza (desbaste)
	Residuos de escoria de la soldadura	Controlar operaciones de limpieza del fabricante
	Contenido de Al muy alto en el baño	Regular el contenido de Al
	Defectos de laminado en el material base	Controlar el material suministrado
	Artículos en contacto durante la inmersión	Separación adecuada de los artículos
	Superficie del material base rugosa	Controlar el material suministrado
	Sobre decapado	Reducir el tiempo decapado, usar inhibidores de decapado
Rugosidad general	Temperatura de inmersión muy alta, tiempo de inmersión muy largos o ambas	Ajustar los parámetros de temperatura y tiempo de acuerdo a sus necesidades
Gránulos	Partículas atrapadas (escorias, arena, polvo)	Controlar material base y sales de decapado
	Velocidad de retiro del baño muy alta	Disminuir velocidad
Hinchazones, protuberancias	Baño demasiado frío	Aumentar la temperatura
	artículos en contacto al retirar el baño	Separación adecuada de los artículos
Inclusiones de fundente	Fundente fresco quemado al sumergir en el baño	Renovar el dispensador del fundente, controlar proceso de soldadura (poros)
Inclusiones de ceniza	Cenizas quemadas al sumergir en el baño	Limpiar el baño antes de sumergir las piezas
	Cenizas atrapadas al retirar del baño	Limpiar el baño antes de retirar las piezas
	Inclusiones de fundente en partículas	Limpiar la zona de fundente en la superficie del baño
Manchas negras	Composición del acero, contenido de silicio, fósforo o carbono, severa deformación en frío.	Controlar calidad y tipo de acero suministrado, controlar el proceso de pretratamiento.



(Continuación Anexo D)

Defecto	Causa	Corrección recomendada
Revestimiento gris mate	Enfriamiento lento después de la inmersión en caliente	Evitar el apilamiento en caliente de las piezas recubiertas; enfriarlas
	Hidrogeno absorbido o emitido durante la solidificación del recubrimiento	Evitar sobre – decapado, usar inhibidores de decapado
	Porcentaje inapropiado de silicio y/o fósforo, alta temperatura del baño	Controlar la materia prima así como la temperatura del baño de zinc
Manchas de oxido, herrumbre	Acido que sale de juntas, dobleces, etc.	Mejorar el diseño y proceso de fabricación del articulo
	Almacenaje cerca de material herrumbroso	Cambiar condiciones de almacenaje
	Apilamiento estrecho de los artículos en atmósfera muy húmeda con vapores presentes.	Almacenar y transportar en condiciones secas y ventiladas, separar apropiadamente los artículos entre sí
Depósitos blancos superficiales	Inadecuada oxigenación del producto galvanizado. las piezas se mojan o humedecen durante algún tiempo, y se encuentran en condiciones de poca aireación	Oxigenación correcta de los elementos galvanizados. Fenómeno estrechamente relacionado con las condiciones ambientales del almacenamiento, y transporte de los materiales recién galvanizados. Utilizar pasivadores en el proceso de enfriamiento.

(Continúa)

APENDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 255:1979	<i>Control de calidad. Procedimiento de muestreo y tablas para la inspección por atributos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 602:1981	<i>Recubrimientos metálicos y no orgánicos. Determinación del espesor de recubrimiento por el método magnético.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 610:1981	<i>Tratamientos superficiales y recubrimientos metálicos. Definiciones y terminología.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 673:1987	<i>Tratamientos superficiales. Cromatizado sobre recubrimientos de zinc,</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 950:1984	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la-adherencia, Método de ensayo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 054:1984	<i>Recubrimientos de zinc sobre productos tubulares de acero y sus accesorios. Requisitos y Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 171:1984	<i>Recubrimientos de zinc sobre acero. Determinación de la uniformidad</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 172:1984	<i>Recubrimientos Ore zinc por inmersión sobre materiales ferrosos Determinación de la masa depositada por unidad de superficie. Método gravimétrico.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 509:	<i>Fosfatación de superficies metálicas. Requisitos.</i>
Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 3:1989	<i>Dibujo Técnico Mecánico.</i>

Z.2 BASES DE ESTUDIO

ISO 1459. *Metallic coatings. Protection against corrosion by not dip galvanizing. Guiding principles.* International Organization for Standardization. Geneva 1991.

ISO 1461. *Metallic coatings. Hot dip galvanized coatings on fabricated ferrous products. Requirements.* International Organization for Standardization. Geneva 1992.

ASTM A 153. *Zinc coating (hot-dip) on iron and Steel hardware.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2005.



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento:	TÍTULO: RECUBRIMIENTOS DE ZINC POR INMERSIÓN EN CALIENTE SOBRE ELEMENTOS DE SUJECIÓN.	Código:
NTE INEN 672		MT 05.01-404
Primera revisión	REQUISITOS GENERALES.	

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 1986-09-22 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo No. 705 de 1986-12-02 publicado en el Registro Oficial No. 602 de 1987-01-13 Fecha de iniciación del estudio:2007-08-07
--	---

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: **Recubrimientos**

Fecha de iniciación: 2007-09-09

Fecha de aprobación: 2007-11-27

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

Ing. Patricio Troncoso
Ing. Fausto Cadena
Ing. Xavier Andrade
Ing. Victor Molina
Ing. Esteban Almeida
Ing. Esteban Zurita
Ing. Reynaldo Pavlica
Ing. Galo Idrovo
Sr. Edgar Taipe
Ing. Patricio Villena
Ing. Raúl Carzalilias
Ing. Diego Vergara
Ing. Justo Freire
Ing. Danny Fiallos
Ing. Patricio Quezada
Ing. Francisco Moreno
Ing Marco Paredes
Ing Alfonso Delgado
Ing. Walter Auz (Pro Secretario Técnico)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

IPAC.
NOVACERO S.A.
TUGALT S.A.
EMOP-QUITO
CIMEPI - E&E EQUIPMENT
CIMEPI - E&E EQUIPMENT
CONDUIT
ADELCA.
SEDEMI
CAMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO
SIDEREXP
GALVANORTE
H. CONSEJO P. PICHINCHA
CAMARA DE INDUSTRIALES DE PICHINCHA
ESPE.
NOVACERO
ADELCA
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA AMERICA
FEDIMETAL



Otros trámites:

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2008-09-11

Oficializada como: Obligatoria
Registro Oficial No. 519 de 2009-02-02

Por Resolución No. 110-2008 de 2008-11-27



UNIVERSIDAD ESTADAL DE MILAGRO
UNIDAD ACADÉMICA CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

HOJA DE PROCESOS PARA CONTROL DE RECUBRIMIENTOS DE ZINC PARA PIEZAS METÁLICAS

Lugar y Fecha: Milagro ___ de _____ del 20__ .

Procesos	Detalle	Diámetro	MEDIDAS			Esp. A/ Recubri.	Esp. D/ Recubri.	Cantidad de muestras	Resultados		Observaciones	Responsable
			Largo	Ancho	Altura				Buenas	Malas		
Recepción de las muestras												
Desengrase												
Lavado												
Decapado												
Enjuague												
Rip												
Secado												
Galvanizado												

Profesor Responsable

