

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO
DE GALVANIZADO**

PRESENTADO POR:

SERGIO ISAMAR ERAZO

RICARDO ERNESTO SÁNCHEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
DIDÁCTICO DE GALVANIZADO**

Presentado por :

SERGIO ISAMAR ERAZO

RICARDO ERNESTO SÁNCHEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, octubre de 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

DEDICATORIA

Primero antes que nada este Trabajo de Graduación se lo dedico a mi amada e incondicional madre que ha estado conmigo en mis triunfos y fracasos, en mis momentos de angustia y necesidad, así como en mis momentos de alegría y prosperidad. Gracias por todo Mamá, este trabajo está hecho por ti y para ti.

¡Te amo con todo mi corazón!

¡DEDICADO INCONDICIONALMENTE A DIOS TODO PODEROSO!

A mis tíos(as): Raúl, Julia, Erícelda, Luis, Arnoldo, Leonel, Alicia

A mis hermanos: Juan y Eduardo Erazo

A mis sobrinos(as): Irving, Mili, Camilo y Ángel

A todos mis compañeros(as) y amigos(as): Gracias por estar ahí en las buenas y en las malas

A todos mis profesores que me brindaron un poquito de su conocimiento.

A todos(as): ¡MUCHAS GRACIAS!

¡BENDICIONES!

SERGIO ISAMAR ERAZO

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso: por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y haber construido para mí una historia perfecta, en la que colocó a las personas idóneas en los momentos justos y hacer que culmine esta etapa de mi vida de forma satisfactoria.

A mi madre: María Antonia Sánchez, por su gran esfuerzo que ha hecho para sacarme adelante, su paciencia y sobre todo su ejemplo de que uno puede salir adelante esforzándose y sobre todo apoyado en Dios.

A mis tíos: José Alfaro Carranza y María Delia Sánchez de Alfaro, que han sido siempre unos padres para mí y sobre todo unos amigos con los cuales he podido contar en todo momento, por sus consejos, su apoyo, su esfuerzo y su gran amor incondicional.

A mi primo: Ing. José Roberto Alfaro Sánchez, por ser siempre un hermano para mí, estar en las buenas y en las malas y por ser siempre una persona en quien confiar.

A mis amigos: Arnulfo Andrade, Juan Ayala, Cruz Sosa, Amílcar, René Artiga Luis Dahbura, Julio Alberto, Elvis Paredes, Israel Jiménez, José Guzmán, Douglas Aguilar, Eduardo Apontes, Revelo Reyes, Erick Jiménez, Ing. William Martínez, Cristina Flores, Sergio Erazo, Julio Quintanilla, Ing. Polanco, Juan Bautista, Sr. Peralta, por ser siempre los de las mil batallas durante la carrera.

A mi comunidad: Los Hermanos de la 3ª Comunidad Neocatecumenal de la Parroquia Santa María de la Encarnación, por sus palabras, su apoyo y sus oraciones, por ser siempre como una familia.

A mi novia: Karla Lizeth Hernández Escobar, por llegar a mi vida en el momento en que más lo necesitaba, por su apoyo siempre incondicional y su amor.

A todas aquellas personas que me han mostrado que el éxito en la vida no sólo está en las alegrías y los triunfos sino en la amistad y en aprender de los fracasos en levantarse de estos y seguir adelante con más ganas con la ayuda de Dios y de los amigos, a todos ustedes **GRACIAS.**

“¿No te he mandado que seas fuerte y valiente? No tengas miedo ni te acobardes, Yahvé tu Dios estará contigo adondequiera que vayas.” Jc 1, 9

RICARDO ERNESTO SÁNCHEZ

AGRADECIMIENTOS

Le damos este agradecimiento, primero a Dios todopoderoso por darnos la vida y permitirnos concluir este Trabajo de Graduación, segundo a nuestro estimado asesor el Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, y al Ing. Rigoberto Velásquez Paz, director de la escuela de Ingeniería Mecánica por sus aportes, apoyo y colaboración durante la realización de este trabajo, a nuestros familiares y compañeros estudiantes de Ingeniería Mecánica, no queda más que agradecerles por todo el apoyo e interés brindado de forma desinteresada, ¡Gracias por todo!

Sergio Erazo & Ricardo Sánchez

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES.....	2
1.1. Fases del proceso de galvanización.....	3
1.1.1. Desengrase/enjuagado.....	4
1.1.2. Decapado.....	4
1.1.3. Enjuagado.....	5
1.1.4. Tratamiento con sales.....	5
1.1.5. Secado.....	5
1.1.6. Galvanización.....	6
1.2. Características del recubrimiento.....	8
1.2.1. Espesor del recubrimiento.....	8
1.2.2. Resistencia a la corrosión.....	11
1.3. Historia del galvanizado.....	20
1.4. Conceptos teóricos sobre materias primas.....	21
1.4.1. Ácido clorhídrico.....	21
1.4.2. Ácido sulfúrico.....	29
1.4.3. Cloruro de zinc.....	37
1.4.4. Cloruro de amonio.....	40
1.4.5. Zinc.....	42
1.5. Dispositivos y equipos utilizados en los procesos de galvanizado en general.....	51
1.5.1. Materiales utilizados en los procesos de galvanizado en general.....	52
1.6. Almacenamiento de materias primas.....	52
1.6.1. Almacenamiento y transporte del ácido clorhídrico.....	53
1.6.2. Almacenamiento y transporte del ácido sulfúrico.....	53
1.6.3. Manejo y almacenamiento del cloruro de zinc.....	59
1.6.4. Manejos almacenamiento y precauciones cloruro de amonio.	61

	Pág.
1.7. Estudio de costos.....	63
1.7.1. Consideraciones para el estudio.....	64
1.7.2. Detalle estudio de costos.....	65
1.8. Determinación de costos.....	67
2. DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE GALVANIZADO.....	68
2.1. Propuesta de diseño de galvanizado.....	68
2.2. Normas utilizadas para el proceso de galvanizado.....	79
2.3. Distribución en planta.....	79
2.4. Determinación de la capacidad instalada.....	81
2.4.1. Tamaños y materiales de los contenedores y crisol.....	81
2.4.2. Limitantes.....	88
2.4.3. Capacidad instalada.....	89
2.5. Especificación de las condiciones óptimas de operación.....	90
2.6. Definición del proceso de galvanizado por inmersión en caliente a las piezas que se galvanizarán para los ensayos de flexión.....	91
3. CONSTRUCCIÓN EXPERIMENTACIÓN Y ENSAYOS.....	99
3.1. Ambientación del local.....	99
3.2. Adquisición y pruebas de todo lo necesario para el proceso.....	101
3.3. Construcción y pruebas al crisol para galvanizado.....	102
3.4. Realización y pruebas a todo el proceso de galvanizado.....	105
3.5. Análisis y pruebas al recubrimiento de galvanizado.....	109
CONCLUSIONES.....	122
REFERENCIAS.....	123
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Referencia utilizada por Galvanizados Lacunza, S.A. de la norma UNE EN ISO 1461.....	10
Tabla 1.2. Protección por años según espesor de zinc y tipo de atmósfera.....	14
Tabla 1.3. Propiedades del ácido clorhídrico.....	25
Tabla 1.4. Solubilidad del cloruro de amonio en 100 g de agua en función de la temperatura.....	41
Tabla 1.5. La producción mundial de zinc durante 2011 por país.....	47
Tabla 1.6. Propiedades y características del ácido sulfúrico.....	54
Tabla 1.7. Solubilidad en agua del cloruro de amonio.....	63
Tabla 1.8. Empresas que proveen los químicos a utilizar para el decapado y Fluxado.....	66
Tabla 1.9. Empresas donde se pueden adquirir los productos necesarios para el proceso de galvanizado con su respectivo precio unitario.....	66
Tabla 1.10. Detalle del presupuesto de los gastos que van a realizar en la ejecución de este trabajo de graduación.....	67
Tabla 2.1. Solubilidad del hierro y sus óxidos en el ácido sulfúrico y clorhídrico.....	69
Tabla 2.2. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de decapado.....	69
Tabla 2.3. Condiciones óptimas de operación en la Escuela de Ingeniería Mecánica.....	91
Tabla 3.1. Resultados de la inspección visual después de los ensayos a flexión realizados a las piezas galvanizadas según la guía de laboratorio del anexo 9.....	111
Tabla 3.2. Resultados de la inspección visual con respecto al porcentaje de zonas oscuras observadas en las piezas galvanizadas ensayadas.....	116
Tabla 3.3. Grupos de probetas embutidas para la medición del espesor..	119
Tabla 3.4. Resultado de las mediciones de los espesores a las piezas galvanizadas observadas con el microscopio.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Protección: (a) catódica de una capa de zinc y (b) por efecto barrera.....	3
Fig. 1.2. Etapas de una instalación de galvanizado en régimen discontinuo.....	4
Fig. 1.3. Microestructura del zinc depositado en caliente: (a) Discontinuo y (b) continuo.....	7
Fig. 1.4. Influencia del contenido de silicio en el espesor de la capa.....	9
Fig. 1.5. Recubrimiento de aspecto gris mate no uniforme (reticular).....	11
Fig. 1.6. Duración probable y media de los recubrimientos galvánicos en diferentes medios atmosféricos.....	13
Fig. 1.7. Influencia del pH del agua sobre la corrosión.....	17
Fig. 1.8. Diagrama de Tillmans.....	18
Fig. 1.9. Zinc en estado puro.....	43
Fig. 2.1. Flujograma de diseño del proceso de galvanizado.....	80
Fig. 2.2. Distribución en planta del proceso de galvanizado.....	81
Fig. 2.3. Pieza o probeta de referencia para dimensionar los contenedores de los ácidos.....	82
Fig. 2.4. Dimensiones del contenedor de los ácidos diseñado según los criterios descritos anteriormente.....	83
Fig. 2.5. Esquema de un horno de tipo vertical, ideal para el galvanizado.....	85
Fig. 2.6. Crisol para galvanizado que cumple con los criterios de selección de forma y materiales basado en pruebas experimentales y conceptos teóricos.....	88
Fig. 3.1. Pantallas separadoras construidas para aislar entre si las diferentes etapas del proceso de galvanizado.....	100
Fig. 3.2. En proceso de corte de la lámina metálica que se utilizará para la construcción del crisol de fundición para el zinc en el proceso de galvanizado.....	102
Fig. 3.3. Colocación de la cerámica interna al crisol para galvanizado en la lámina de acero que ya se encuentra soldada en los extremos, según el criterio de diseño que se especificó anteriormente.....	103

Fig. 3.4. Construcción del crisol finalizada a la espera a que seque el cemento para la realización de pruebas y realizar el proceso de galvanizado.....	104
Fig. 3.5. Crisol construido en diferentes pruebas, ha cumplido satisfactoriamente las pruebas de forma (encaja correctamente en el horno) pruebas de temperatura y pasividad con el zinc (no hay contaminación) está listo para galvanizar.....	105
Fig. 3.6. (a) piezas metálicas de pruebas en proceso de decapado se aprecia la reacción del ácido sulfúrico como limpiador químico de metales y (b) piezas de pruebas ya decapadas.....	106
Fig. 3.7. (a) Piezas metálicas de pruebas en proceso de fluxado (b) piezas después del fluxado.....	107
Fig. 3.8. Piezas en proceso de secado antes de ser galvanizadas por inmersión en caliente, este proceso es fundamental para evitar que residuos húmedos exploten al entrar en contacto con el zinc fundido y puedan causar daños a las personas que realizan la inmersión.....	107
Fig. 3.9. Piezas en proceso de inmersión en caliente, la pieza está dentro de la fundición de zinc, una limpieza al zinc fundido antes y después de la extracción del material es necesaria para que las impurezas de la reacción del material con el zinc fundido no queden en el recubrimiento mismo.....	108
Fig. 3.10.(a) piezas ya galvanizadas listas para la realización de ensayos sobre la calidad de la adherencia del recubrimiento. (b) Piezas sin galvanizar se presente un antes y un después del proceso de galvanizado, la diferencia en el aspecto superficial es evidente.....	108
Fig. 3.11. Pieza galvanizada en proceso de ensayo a flexión, dobles hasta 135°.....	110
Fig. 3.12 Resultados de la inspección visual en área de dobles en las piezas ensayadas.....	112
Fig. 3.13. Probeta representativa de todas las probetas que no presentaron fallos.....	113
Fig. 3.14. La probeta con 6 min de decapado y 5 s de inmersión en el baño de zinc, presenta pequeñas grietas o desprendimientos producto del dobles.....	113
Fig. 3.15. La probeta con 6 min de decapado y 10 s de inmersión en el baño de zinc, presenta agrietamientos del recubrimiento de zinc en zona donde se produjo el dobles.....	114

Fig. 3.16 Resultados de la inspección visual del % de zonas oscuras en base a los tiempos de inmersión y decapados.....	116
Fig. 3.17. Fotografía de una muestra metalográfica de un corte 2 probetas galvanizadas con un mismo tiempo de inmersión y diferente tiempo de decapado.....	117
Fig. 3.18. Esquema de las mediciones de los espesores a las piezas galvanizadas embutidas para muestras metalográficas en grupos de 3.....	119
Fig. 3.19. Resultado de las mediciones de espesor a las muestras metalográficas.....	120

SIMBOLOGÍA UTILIZADA

- Γ Fase gamma, fase de aleación de zinc con el hierro contiene entre 20 % y 27 % de hierro con estructura F.C.C.
- δ Fase delta, fase de aleación de zinc con hierro, contiene entre 7% y 11% de hierro y mantiene una estructura hexagonal.
- ζ Fase zeta, fase de aleación de zinc con hierro que contiene aproximadamente 6% de hierro y tiene una estructura monocristalina.
- η Fase eta, fase de aleación de zinc que es en realidad el zinc que queda mojando la superficie aleada y que se solidifica al extraer las piezas del baño.
- UNE Norma Internacional española.
- ISO Organización Internacional para la Estandarización (por sus siglas en Inglés, International Standardization Organization)
- pH Potencial de hidrógeno
- ASTM Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (por sus siglas en Inglés, American Society for Testing Materials).

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1.- Especificaciones técnicas para el galvanizado por inmersión en caliente de materiales generales.....	130
Anexo 2.- Propiedades del zinc.....	131
Anexo 3.- Hoja de datos de seguridad ácido clorhídrico líquido.....	132
Anexo 4.- Hoja de cotización de una empresa en estudio de costos.....	136
Anexo 5.- Práctica de laboratorio: Proceso de galvanizado en régimen discontinuo.....	137
Anexo 6.- Laboratorio: Mezcla de reactivos químicos para galvanizado....	144
Anexo 7.- Instrucciones para el diseño de elementos y conjuntos que deban ser galvanizados en caliente.....	151
Anexo 8.- Guía de inspección de calidad a las piezas después del galvanizado.....	163
Anexo 9.- Práctica de laboratorio: Ensayos de Flexión.....	172

RESUMEN

En este trabajo de graduación se plantea y describe la construcción de un sistema de galvanizado por inmersión en caliente en régimen discontinuo para fines didácticos y de investigación. Se comienza con una recopilación de información teórica relacionada con el proceso de galvanizado, las diferentes fases de la aleación que se producen en el recubrimiento, propiedades del recubrimiento como agente pasivante del acero entre otras propiedades importantes que hacen del galvanizado una excelente alternativa para evitar la corrosión. También, se describen los conceptos teóricos de los diferentes reactivos a utilizar, sus propiedades más importantes así como las precauciones y medidas de seguridad sobre su uso y almacenamiento.

Subsecuentemente, se determinaron los costos de implementación de un diseño, instalación y construcción del sistema de galvanizado. Para este diseño del sistema se tomaron en cuenta todas las consideraciones necesarias para realizar un proceso de galvanizado limpio y con la mayor seguridad partiendo del hecho que este sistema es con fines didácticos, y que el recubrimiento obtenido tenga un buen aspecto y con la mayor calidad posible. Esto teniendo presente limitaciones de espacio y equipos con que cuenta la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Por último se describen las diferentes etapas de construcción pruebas y ensayos realizados al sistema para garantizar su funcionalidad y probar las diferentes etapas del sistema así como del recubrimiento mismo.

INTRODUCCIÓN

El galvanizado es uno de los recubrimientos más utilizados en diferentes industrias por sus excelentes propiedades anticorrosivas sobre el acero. Además, es uno de los recubrimientos más económicos que existen actualmente en el mercado.

Son numerosas las aplicaciones donde se encuentran estos recubrimientos galvánicos, entre las cuales se puede citar: láminas, tornillería, clavos, estructuras para la red vial, canales hidráulicos, tuberías, alambres etc. Así, son muchas las aplicaciones disponibles a los que el galvanizado ofrece una solución fácil y económica para evitar la corrosión en los metales ferrosos expuesto a diferentes tipos de ambientes agresivos.

La finalidad de este trabajo de graduación es llevar a cabo la implementación de un sistema de recubrimiento de galvanizado por inmersión en caliente, tomando en consideración los diferentes criterios tanto teóricos como prácticos para llevar a cabo dicho sistema.

En el presente trabajo de graduación se presentan los conceptos teóricos, criterios, estudios y consideraciones necesarias para que la implementación realización y posterior uso del sistema de galvanizado por inmersión en caliente en régimen discontinuo sea lo más útil, seguro y sencillo posible, también se ha dispuesto este sistema para que a su vez sirva de apoyo para realizar, posteriormente, otros trabajos de investigación que aporten un valor agregado y conocimientos tanto a la Escuela de Ingeniería Mecánica como también a otras carreras de la universidad y empresas que necesite apoyarse de este sistema para trabajos de investigación.

1. ANTECEDENTES

Un modo para aprovechar la alta resistencia mecánica de los metales o sus aleaciones como el acero, en ambientes calificados como corrosivos, es su protección superficial con otros metales que presentan una mayor resistencia a esos ambientes corrosivos^[1].

Una de las técnicas más económicas y, por lo tanto, de gran aplicación industrial es la inmersión del acero en un baño líquido del metal protector durante el tiempo necesario para procurar el proceso de difusión y, por lo tanto, la formación y adherencia de una capa de recubrimiento que queda después de su solidificación^[1].

Los metales o aleaciones que pueden ser utilizadas como recubrimiento deben cumplir los requisitos siguientes:

- 1) Pasivos en el ambiente corrosivo.
- 2) Posibilidad para formar aleación con el acero, mediante su difusión a las temperaturas que se realiza la inmersión.

Los metales que cumplen con estos requisitos son variados. En el caso del acero se puede citar el zinc, aluminio, y cadmio como los más electronegativos; y el estaño, níquel, cobre y cromo como menos electronegativos^[1].

El mecanismo de protección contra la corrosión es diferente según su nivel electronegativo. Los más electronegativos que el acero lo protegen por protección catódica en el cual el recubrimiento transforma en ánodo las partes descubiertas, como poros o ralladuras, en la superficie de acero tal como se presenta en la Fig. 1.1a. Los menos electronegativos que el acero lo protegen por efecto barrera tal como se presenta en la Fig. 1.1b, quedando como ánodo

los poros o rallas que pueden formarse en el proceso y requiriendo actuaciones adicionales que inhiban el proceso corrosivo en el acero^[1].

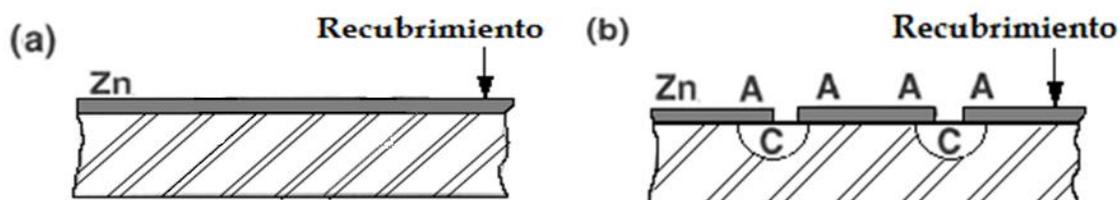


Fig. 1.1. Protección: (a) catódica de una capa de zinc y (b) por efecto barrera.

El ámbito de aplicación es muy amplio: tuberías, estructuras, carrocerías son de láminas galvanizadas; tubos de escape de automóviles recubiertos con aluminio; botes de conserva recubiertas en estaño, etc^[1].

En el **Anexo 1** se presentan las especificaciones estándar de un proceso de galvanizado según la empresa B.BOSH-Galvanizado, empresa muy respetada y conocida en la realización del galvanizado.

1.1. FASES DEL PROCESO DE GALVANIZACIÓN

El proceso de una planta de galvanización, bien en régimen continuo o discontinuo, tiene una etapa de adhesión del zinc fundido puro en el acero y otras etapas, pre y post, destinada a la preparación del material que debe realizarse en condiciones específicas de limpieza de superficies^[1].

Las etapas de una instalación modelo de galvanizado se presenta en la Fig. 1.2.

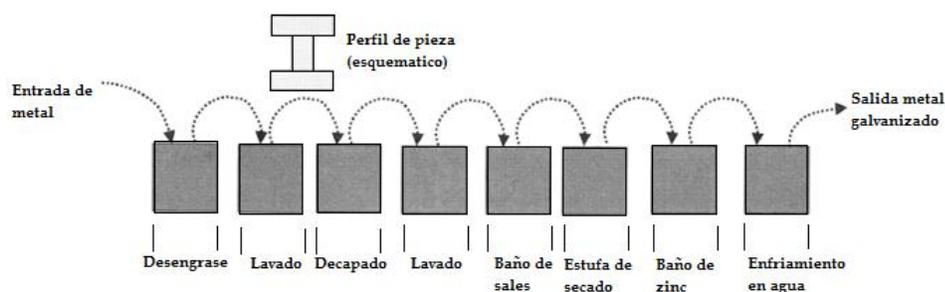


Fig. 1.2. Etapas de una instalación de galvanizado en régimen discontinuo.

1.1.1. DESENGRASE/ENJUAGADO

Las piezas con algún resto de grasa o aceite se someten a un desengrase en soluciones alcalinas o ácidas. No se suelen usar desengrasantes orgánicos. Después del desengrase las piezas se enjuagan en baño de agua para evitar el arrastre de las soluciones de desengrase a la etapa siguiente^[1].

1.1.2. DECAPADO

El decapado sirve para eliminar el óxido y la calamina, que son los contaminantes superficiales más comunes de los productos ferrosos y obtener así una superficie de acero químicamente limpia. Así, este decapado se realiza normalmente con ácido clorhídrico o sulfúrico diluido, a temperatura ambiente o en caliente. El tiempo de decapado depende del grado de oxidación superficial de las piezas y de la concentración de la solución de ácido en la solución^[1].

1.1.3. ENJUAGADO

Después del decapado las piezas se enjuagan en un baño de agua para evitar el arrastre de restos de ácido a la subsiguiente etapa del proceso^[1].

1.1.4. TRATAMIENTO CON SALES

El tratamiento con sales, mezclas de cloruro de zinc y cloruro de amoníaco, tienen por objetivo eliminar cualquier traza restante de impurezas y producir una limpieza intensa de la superficie metálica. Estas sales actúan como los "flux" en soldadura, esto es, favorecen la Mojabilidad de la superficie del acero con el zinc fundido. Estas sales se aplican normalmente por inmersión de las piezas en una solución acuosa de las mismas. Otra forma es hacer pasar las piezas a través de una capa de sales fundidas que flota sobre la superficie del baño de zinc. También, pueden espolvorearse las sales sobre la superficie de las piezas, o rociarlas en forma de solución, antes de la inmersión de las piezas en el baño de zinc^[1].

1.1.5. SECADO

En el caso de que las piezas se traten con las sales por inmersión en una solución acuosa de las mismas, deben secarse antes de su introducción en el baño de zinc, lo que se realiza en un horno o con aire caliente^[1].

1.1.6. GALVANIZACIÓN

La galvanización en caliente consiste en sumergir las piezas de acero a proteger, con la superficie químicamente limpia, en un baño de zinc fundido mantenido a ~ 450 °C. A esta temperatura tiene lugar un proceso de difusión del zinc en el acero que da lugar al crecimiento progresivo de una aleación de hierro-zinc sobre todas las superficies de las piezas^[1].

El recubrimiento que se forma está compuesto principalmente por cuatro capas que se diferencian por su contenido en hierro. La capa que se halla más cerca del metal base denominada fase gamma (γ). Ésta es la más delgada de todas contiene entre 20 y 27 % de hierro y tiene una estructura (FCC). La capa siguiente es la delta (δ) que tiene entre 7 y 11 % de hierro y una estructura hexagonal. Parece que en esta capa (δ) residen las buenas características de adherencia del recubrimiento galvanizado al sustrato. A continuación está la capa zeta (ζ) que tiene $\sim 6\%$ de hierro y una estructura HCP. Finalmente, en la parte externa está la capa eta (η) que es el zinc puro que queda mojando la superficie aleada y que se solidifica al extraer las piezas del baño. El aspecto del recubrimiento galvánico es plateado y se pueden ver frecuentemente los cristales de zinc de la capa (η) formando un cierto patrón sobre la superficie, que recibe el nombre de "floreado" del galvanizado. La observación microscópica de un corte transversal de un recubrimiento galvánico permite diferenciar claramente las fases de aleación zinc-hierro así como la capa superficial de zinc puro tal como se presenta en la Fig. 1.3a^[1].

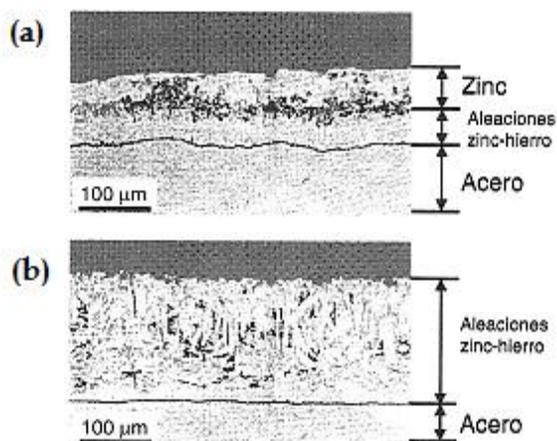


Fig. 1.3. Microestructura del zinc depositado en caliente: (a) Discontinuo (arriba) y (b) continuo (abajo).

En el caso de productos semi fabricados, tales como alambre en carretes, láminas, entre otros, la galvanización se realiza mediante procesos continuos. El proceso más utilizado para estos materiales es el SENDZIMIR, en el que la preparación superficial no se realiza por vía húmeda sino que se efectúa en un horno a temperatura y atmósfera controlada. En la primera parte del horno la atmósfera oxidante y la alta temperatura producen el quemado de los restos orgánicos y la oxidación superficial que pudiera llevar el material. En la parte final del horno existe una atmósfera reductora obtenida por craqueo de amoníaco que reduce el óxido superficial del material y deja la superficie en un estado muy apropiado para su inmediata inmersión en el baño de zinc. El tiempo de residencia en el baño de zinc es muy corto, de 2 a 4 segundos, y a la salida del baño se escurre el material mediante un chorro de aire caliente. De esta manera se obtienen recubrimientos más delgados que los que se forman en los procesos de galvanización discontinua y en los que está muy inhibida la formación de las fases de compuestos intermetálicos hierro-zinc, por lo que la mayor parte del recubrimiento está formado por zinc puro. Estos recubrimientos

son especialmente aptos para sufrir conformaciones severas, como son el estampado, embutido, doblado, entre otros^[1].

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL RECUBRIMIENTO

Desde el punto de vista mecánico se tiene que tener en cuenta que los recubrimientos galvánicos con capas de compuestos intermetálicos muy desarrollados son muy duros y resistentes al desgaste abrasivo, ya que la dureza de las capas delta y zeta son incluso superiores a la del acero suave. En contraposición, estos recubrimientos no admiten deformaciones severas sin riesgo de agrietamiento o exfoliación^[1].

Con esta consideración, de la fragilidad de la capa, se necesita controlar el espesor del recubrimiento porque ambos parámetros están correlacionados de forma directa.

1.2.1. ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO

El espesor de los recubrimientos galvánicos es función directa de:

a) La composición del acero. Especialmente el contenido de carbono, fósforo y silicio. Cuando el acero tiene un contenido de silicio entre 0.04 y 0.12%, y también por encima de 0.25%, se produce un crecimiento acelerado de las aleaciones zinc-hierro, efecto Sandelin, como se presenta en la Fig. 1.4. En estos casos se forman recubrimientos galvánicos apreciablemente más gruesos que normalmente presentan un aspecto gris oscuro mate. Este aspecto puede

afectar a todo la superficie de manera uniforme o tomar una configuración reticular, Fig. 1.5^[1].

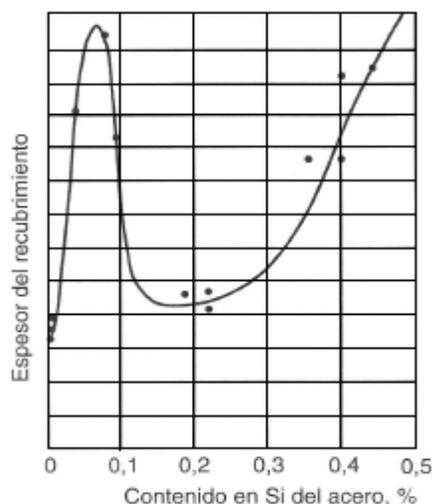


Fig. 1.4. Influencia del contenido de silicio en el espesor de la capa.

El fósforo también tiene influencia en la aparición del aspecto gris mate, especialmente cuando es bajo el contenido de silicio. El aspecto gris mate está influenciado por los altos contenidos de silicio y fósforo evaluados por la relación siguiente^[1]:

$$\%Si + 2.5*\%P > 0.090*A \quad (1.1)$$

b) La Rugosidad superficial. El espesor aumenta con el aumento de la rugosidad superficial.

c) El incremento de la temperatura del baño zinc fundido. La temperatura de interacción entre el acero y el baño aumenta el espesor del depósito.

En aceros suaves y bajo características de baños normales, el espesor especificado oscila entre 50 y 100 μm ^[1].

La norma básica que especifica las características que deben cumplir los recubrimientos galvanizados se presenta en la Tabla 1.1 y que se obtienen en las instalaciones discontinuas de galvanización en caliente (conocidas normalmente como instalaciones de galvanización general), es la norma española e internacional UNE e ISO 1461, "Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo" ^[1].

Tabla 1.1. Referencia utilizada por Galvanizados Lacunza, S.A. de la norma UNE EN ISO 1461.

Aceros	Espesores, mm	g/m^2	μm	g/m^2	μm
Recocidos	> 6	505	70	610	85
	> 3 mm hasta ≤ 6 mm	395	55	505	70
	≥ 1.5 mm hasta ≤ 3 mm	325	45	395	55
	< 1.5 mm	250	35	325	45
Deformados	≥ 6 mm	505	70	575	80
	< 6 mm	430	60	505	70

El criterio para determinar la calidad del galvanizado por inmersión son el aspecto superficial o visual, la adherencia y el espesor. Este último es el más relevante, dado que la duración es directamente proporcional a su espesor ^[1].

1.2.2. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

El acero al ser recubierto con zinc presenta mayor resistencia a la corrosión en los medios atmosféricos y en conducción de agua como consecuencia, en primer lugar, del efecto barrera que constituye la capa de zinc pasivado. En efecto, los productos de su corrosión, normalmente hidróxidos y carbonatos básicos de zinc, forman una barrera adherente, insoluble, y poco porosa; características resistentes en los óxidos hidratados que se forman en la corrosión del hierro y el acero, que son floculantes, poco adherentes y no forman una verdadera barrera aislante que impida el contacto del metal subyacente con el medio ambiente^[1].

En segundo lugar el recubrimiento galvánico se comporta como la parte anódica de la pila de corrosión que se ataca preferentemente, protegiendo al acero catódicamente. Esto significa que los recubrimientos galvánicos proporcionan también protección en aquellas zonas en donde éste no existe, por deterioro mecánico o cualquier defecto del mismo, siempre que estas zonas no tengan más de 3 mm de anchura^[1].



Fig. 1.5. Recubrimiento de aspecto gris mate no uniforme (reticular).

El comportamiento del recubrimiento en las dos aplicaciones citadas es:

Ambiente atmosférico

Se ha comprobado que la duración de los recubrimientos galvánicos es directamente proporcional a su espesor. En la Fig. 1.6. Se presenta un esquema que indica la vida probable y media de los recubrimientos galvánicos para distintos ambientes atmosféricos indicados con su dispersión previsible, el cual es función de numerosos factores, entre los que predominan: a) el grado de humedad, b) el tiempo que se opera por debajo del punto de rocío y c) contaminantes existentes en la atmósfera^[1].

La atmósfera rural es la menos agresiva por ser la más pura, ya que como casi únicos contaminantes son los productos de putrefacción de la materia orgánica, bicarbonato, amoníaco, óxido de nitrógeno, entre otros. Le siguen en corrosividad las atmósferas urbanas y marinas^[1].

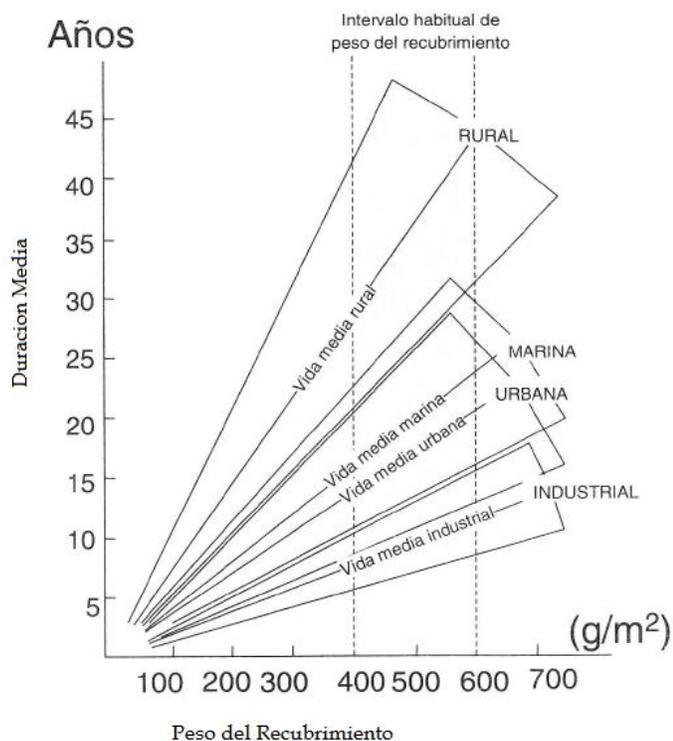


Fig. 1.6. Duración probable y media de los recubrimientos galvánicos en diferentes medios atmosféricos.

En las zonas urbanas, las principales contaminantes son el polvo que retiene la humedad y los productos de combustión, óxidos de azufre, carbono y nitrógeno principalmente; y en las marinas, los cloruros y el elevado grado de humedad. Las atmósferas más agresivas son las industriales, ya que están normalmente contaminadas con productos agresivos tales como dióxido de azufre, ácidos orgánicos e inorgánicos y otros contaminantes propios de cada tipo de industria, que al disolverse en el agua de lluvia, o de condensación, originan disoluciones muy agresivas^[1].

A partir de la Fig. 1.6 y Tabla 1.2, se puede deducir la duración de los recubrimientos galvánicos según el espesor del mismo y el tipo de atmósfera y espesor^[1].

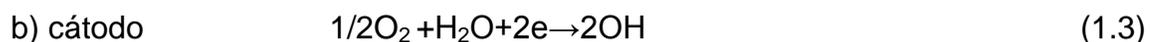
Tabla 1.2. Protección por años según espesor de zinc y tipo de atmósfera.

Espesor de zinc, μm	10	20	33	43	53	66	76	86	96	106	119	129
Tipo de atmósfera												
Rural	7	12	19	25	31	38	43	50	57	62	68	74
Marino tropical	5	10	15	20	24	29	33	39	43	48	53	58
Marino templado	4	9	13	17	21	26	30	35	39	43	48	51
Suburbano	3	6	10	14	18	21	24	29	32	36	40	42
Moderadamente industrial	2	4	8	11	14	18	21	24	28	31	34	38
Industrial pesado	1	2	4	7	9	11	13	15	15	19	21	22

Ambiente Acuoso

La baja velocidad de corrosión de los recubrimientos de zinc en contacto con la mayoría de las aguas naturales se debe a que los productos de corrosión que se forman en las primeras fases del proceso de ataque se constituyen un depósito insoluble, compacto y adherente, que forma una barrera que aísla al metal del contacto con el medio acuoso ^[1].

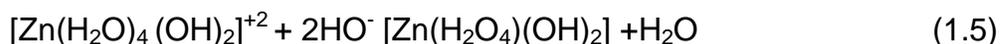
La explicación de los procesos que tienen lugar con el agua dulce en procesos anódicos y catódicos se presentan en las siguientes expresiones ^[1]:



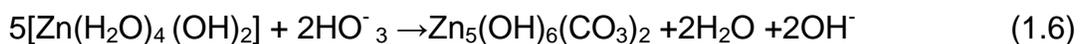
Parece ser que después se produce la hidratación de los iones Zn^{2+} , tal como se presenta en la ecuación 1.4 ^[1]:



Finalmente acaban formando hidróxido de zinc hidratado por iones hidroxilo del agua ^[1]:



Este hidróxido de zinc hidratado, que precipita como producto primario en estado amorfo, se transforma progresivamente por la acción del ácido carbónico disuelto en el agua en un carbonato básico de zinc, normalmente el Pentazinc-hexahidroxidocarbonato que forma una capa protectora insoluble, adherente e impermeable ^[1]:



Este aparente sencillo mecanismo de autoprotección del zinc o de los recubrimientos de zinc sobre el acero es, sin embargo, bastante más complicado en la práctica, debido a que las aguas naturales nunca son puras. Por una parte el agua de lluvia llega al suelo saturada de nitrógeno, oxígeno y cierto contenido de anhídrido carbónico. Por otra parte el agua que fluye sobre la corteza terrestre arrastra productos de la erosión del terreno, sustancias vegetales en descomposición y diversos materiales en estado coloidal o suspensión. A su vez, el agua que se filtra a través del suelo se enriquece con las sales del terreno. Por ello, el comportamiento de los recubrimientos galvánicos en contacto con las diferentes aguas dulces naturales dependerá en gran medida del modo en que las distintas sustancias contenidas en los mismos

afectan a la naturaleza y estabilidad de las películas de pasivación, que se forman como consecuencia del proceso inicial de corrosión del zinc.^[1]

De manera general se puede decir que los factores que más influyen sobre la velocidad de corrosión de los recubrimientos galvánicos en las aguas son: el pH, la dureza, el contenido de gases, oxígeno y anhídrido carbónico, y la temperatura^[1].

Influencia del pH

En la Fig. 1.7 se presenta claramente cómo influye el pH del agua y de las soluciones acuosas sobre la velocidad de corrosión del zinc. De esta Fig. 1.7 se deduce que el zinc o sus recubrimientos no deben exponerse a la acción prolongada de aguas cuyo pH sea inferior a 6 o superior a 12.5, que es el intervalo de estabilidad de la película de pasivación que se forma en el agua^[1].

El agua oceánica es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7.5 y 8.4 y varía en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye tendiendo a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad y de la actividad vital de los organismos marinos.

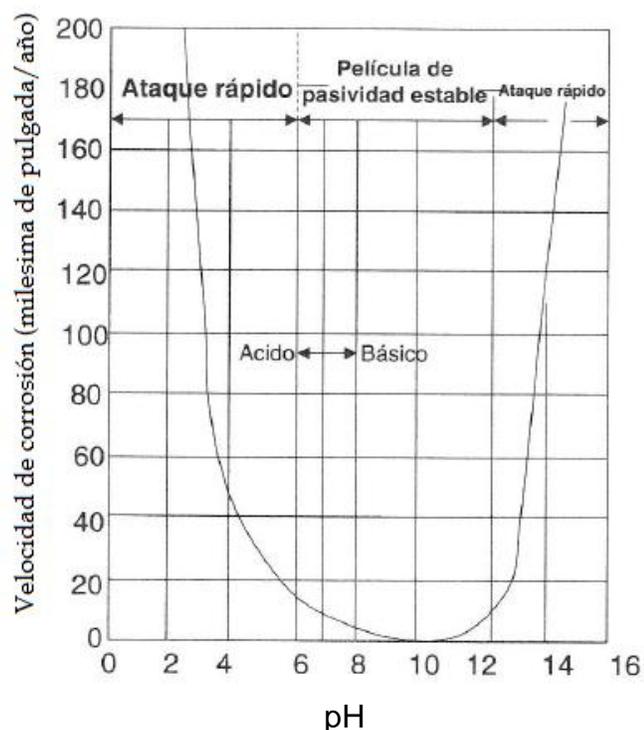


Fig. 1.7. Influencia del pH del agua sobre la corrosión.

Influencia del contenido de gases

Se ha comprobado que en agua exenta de gases, oxígeno y dióxido de carbono, la corrosión del zinc es muy lenta. Parece ser que la presencia de oxígeno en el agua produce aumento de la corrosión a través de un mecanismo de despolarización catódica, al estar la velocidad de corrosión controlada por la difusión del oxígeno a través de la película de productos de corrosión^[1].

La influencia del anhídrido carbónico está en relación directa con el equilibrio que existe en todas las aguas naturales entre el contenido de bicarbonatos de calcio y magnesio, que constituyen la dureza temporal del agua, y sus correspondientes carbonatos. Este equilibrio es el siguiente^[1]:



El CO_2 de equilibrio es la cantidad necesaria para asegurar la solubilidad de los bicarbonatos según el equilibrio expresado en la ecuación 1.7. En el diagrama de Tillmans, (Fig. 1.8) se presenta como el CO_2 de equilibrio varía en forma exponencial con respecto a la dureza temporal. Cualquier agua cuya característica la sitúen a la derecha de la curva será un agua no agresiva o también llamada incrustante, ya que precipitará carbonatos con liberación de CO_2 al contacto con las superficies metálicas, dando lugar a depósitos que refuerzan el campo de pasivación. Esta precipitación termina cuando se establece un nuevo equilibrio-entre lo que queda de bicarbonato disuelto y la concentración de CO_2 libre^[1].

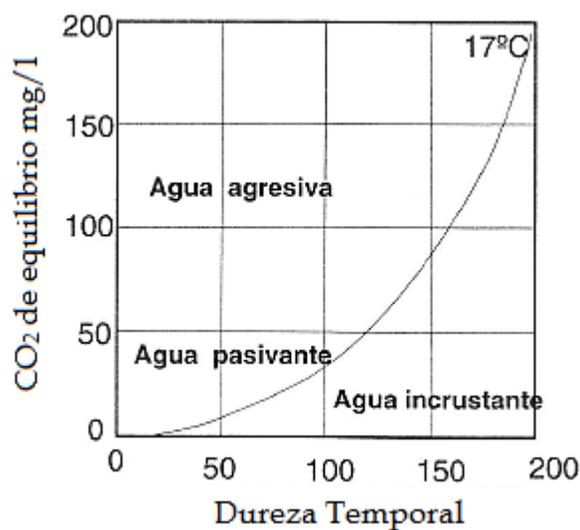


Fig. 1.8. Diagrama de Tillmans.

Por el contrario, las aguas cuyas características se encuentran a la izquierda de la curva del diagrama de Tillmans son agresivas o mejor dicho, carbonato-agresivas, ya que aunque tengan una dureza alta no depositan

capas carbonatadas, pudiendo incluso disolver las capas preexistentes, por desplazamiento hacia la izquierda del equilibrio (Relación 1.7) En estas condiciones, en cuanto el contenido de oxígeno sea superior a 5 mg/l, el agua resultará corrosiva para el acero. Sin embargo, los recubrimientos galvánicos que tienen bien formada una capa pasiva resistirán a estas aguas carbonato-agresivas, ya que el oxígeno no puede permear fácilmente dicha capa^[1].

Influencia de la temperatura

La influencia del aumento de temperatura del agua sobre la corrosividad es bastante marcada, siendo máxima en el intervalo de temperatura comprendidas entre 60 y 85 °C. También, se ha relacionado el aumento de la velocidad de corrosión con el cambio que experimentan la naturaleza de los productos de corrosión, que pasan de ser de tipo gelatinoso y adherente a otros de tipo granular y no adherente, entre 60 y 85 °C, para volver a ser compactos y densos a partir de los 850 °C^[1].

Por otra parte, se ha observado que a ciertos niveles de temperatura se puede producir, en determinados casos, una inversión del potencial de zinc con relación al acero. Lo cual significa que a esta temperatura el acero es anódico frente al zinc. Esta inversión se puede producir a partir de los 600 °C y es favorecida por la presencia de iones bicarbonato y nitrato. Por el contrario, los iones cloruros y de sulfatos dificultan esta inversión. También, se actúa en este sentido por la adición inhibidores tipo silicato o iones de calcio^[1].

Como referencia práctica se cita que el Centro Técnico de la Construcción de Francia^[1] establece 600 °C como límite máximo de temperatura del agua en tuberías galvanizadas^[1].

1.3. HISTORIA DEL GALVANIZADO

La historia del galvanizado data desde el año 1742, cuando un químico francés Melouin, describió en una presentación ante la Academia Real Francesa, un método de tratamiento que consistía en sumergir el acero en zinc-fundido. Sorel, otro químico francés, en 1836 patentó un método que consistía en recubrir el acero con zinc luego limpiarlo con ácido sulfúrico al 9% y posteriormente sumergirlo en cloruro de amonio. En 1937 se otorgó una patente británica para un proceso similar. Para 1850, la industria galvanizadora británica utiliza 10 mil toneladas de zinc al año para la protección del acero^[2].

El galvanizado se encuentra en casi todas las aplicaciones más importantes en las industrias donde se utiliza el acero o hierro fundido. Las industrias de servicios, procesos químicos, pulpa y papel, automotriz y de transporte, para nombrar algunas, desde su invención hasta la fecha se ha empleado el galvanizado para el control de la corrosión^[2].

En 1984 B. BOSCH decide entrar en la industria del galvanizado. En ese tiempo lo hace a través de la compra de una planta artesanal llamada GALMET^[2].

En el año 1991 la empresa B.BOSCH construye en la ciudad de Santiago en Chile, la primera planta con tecnología de punta. Posteriormente construye dos más, una en Coronel (Galva8-1995) y la otra planta de centrifugado en Santiago (1997). En el año 1999-2000 se construye la planta BBGB en la ciudad de Jundiaí, Brasil, con capacidad de 4000 Toneladas al mes. A fines del año 2003 compró Galvasur la cual inicia sus operaciones en Julio de 2004, en la ciudad de Pto.Varas. En el año 2005 construyeron la planta Buenaventura, en

la ciudad de Santiago, transformándose ésta, a la fecha, en la más grande y moderna de Chile, con capacidad de 4000 Toneladas al mes. Esta planta inicia sus actividades en Enero de 2006^[2].

Actualmente en Chile existen más de 20 plantas dedicadas a la galvanización de productos en general. Muchas de estas siguen siendo artesanales que sirven demanda propia y de terceros^[2].

1.4. CONCEPTOS TEÓRICOS SOBRE MATERIAS PRIMAS

Para tener un panorama acerca de lo que se va a necesitar para la implementación de este proceso de galvanización se necesitan conocer algunos conceptos básicos y fundamentales sobre los materiales que se utilizarán porque dará un panorama del uso, manejo y almacenamiento de estos productos para no poner en peligro tanto la calidad del proceso de recubrimiento que se va a realizar así como la integridad de los operarios que estén involucrados en dicho proceso.

1.4.1. ÁCIDO CLORHÍDRICO

El ácido clorhídrico, ácido muriático, espíritu de sal, ácido marino, ácido de sal o todavía ocasionalmente llamado, ácido hidroclórico (por su extracción a partir de la sal marina en América), agua fuerte o sulfumán (en España), es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno (HCl). Es muy corrosivo y ácido. Se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte

que se disocia completamente en una disolución acuosa. Una disolución concentrada de ácido clorhídrico tiene un pH inferior a 1; una disolución de HCl al 0.1% da un pH de 1 ^[3-4].

A temperatura ambiente, el cloruro de hidrógeno es un gas ligeramente amarillo, corrosivo, no inflamable, más pesado que el aire, de olor fuertemente irritante. Cuando se expone al aire, el cloruro de hidrógeno forma vapores corrosivos densos de color blanco. El cloruro de hidrógeno puede ser liberado por volcanes.

El cloruro de hidrógeno, generalmente, se usa para limpiar, tratar previo al galvanizado de metales, curtir cueros, y en la refinación y manufactura de una amplia variedad de productos. El cloruro de hidrógeno puede formarse durante la quema de muchos plásticos. Cuando entra en contacto con el agua, forma ácido clorhídrico. Tanto el cloruro de hidrógeno como el ácido clorhídrico son corrosivos ^[3-4].

Historia del ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico, fue obtenido por primera vez por Jabir ibn Hayyan (también conocido como Geber), alrededor del año 800, mezclando sal común con vitriolo (ácido sulfúrico) ^[3-4].

En la Edad Media, el ácido clorhídrico era conocido entre los alquimistas europeos como espíritu de sal o acidum salis. En el siglo XVII, Johann Rudolf Glauber, de Karlstadt, Alemania, utilizó sal (cloruro de sodio) y ácido sulfúrico para preparar sulfato sódico, liberando gas cloruro de hidrógeno. Joseph Priestley, de Leeds, Inglaterra preparó cloruro de hidrógeno puro en 1772, y Humphry Davy de Penzance demostró que su composición química contenía hidrógeno y cloro ^[3-4].

Durante la Revolución industrial en Europa, la demanda por sustancias alcalinas, tales como la sosa (hidróxido de sodio), se incrementó, y el nuevo proceso industrial para su obtención desarrollado por el francés Nicolás Leblanc permitió la producción a gran escala con bajos costos. En el proceso Leblanc, se convierte sal en sosa, utilizando ácido sulfúrico, piedra caliza y carbón, liberando cloruro de hidrógeno como producto secundario. Hasta 1863 éste era liberado a la atmósfera. Un acta de ese año obligó a los productores de sosa a absorber este gas en agua, produciendo así ácido clorhídrico a escala industrial [3-4].

A comienzos del siglo veinte, cuando el proceso Leblanc fue sustituido por el proceso Solvay, que no permitía obtener ácido clorhídrico como el primero, éste ya era un producto químico utilizado de manera frecuente en numerosas aplicaciones. El interés comercial llevó al desarrollo de otros procesos de obtención, que se utilizan hasta el día de hoy, y que son descritos posteriormente. Actualmente, la mayoría del ácido clorhídrico se obtiene absorbiendo el cloruro de hidrógeno liberado en la producción industrial de compuestos orgánicos [3-4].

Química del ácido clorhídrico

El cloruro de hidrógeno es un ácido monoprótico, lo que significa que sólo puede liberar un ion H^+ (un protón). En soluciones acuosas, este protón se une a una molécula de agua para formar un ion de oxígeno, Quedando como resultado H_3O^+ [3-4].



El otro ion formado es Cl^- , el ion cloruro. El ácido clorhídrico puede entonces ser usado para preparar sales llamadas cloruros, como el cloruro de sodio. El ácido clorhídrico es un ácido fuerte, ya que se disocia completamente en agua^[3-4].

Los ácidos monopróticos tienen una constante de disociación ácida, K_a , que indica el nivel de disociación en agua. Para ácidos fuertes como el HCl, el valor de K_a es alto. Al agregar cloruros, como el NaCl, a una solución acuosa de HCl, el valor de pH prácticamente no cambia, lo que indica que el ion de cloro (Cl^-) es una base conjugada notablemente débil, y que HCl está casi completamente disociado en soluciones acuosas. Por lo tanto, para soluciones de ácido clorhídrico de concentración relativamente altas, se puede asumir que la concentración del ion hidrógeno (H^+) es igual a la de HCl^[3-4].

De los siete ácidos inorgánicos más fuertes, el ácido clorhídrico es el ácido monoprótico con menor tendencia a provocar reacciones redox que puedan interferir con otras reacciones. Es uno de los ácidos fuertes menos peligrosos de manipular y, a pesar de su acidez, produce el ion cloruro que relativamente es poco reactivo y no tóxico. Sus soluciones de concentraciones intermedias son bastante estables (hasta 6 M), manteniendo sus concentraciones con el paso del tiempo. Estos atributos, sumados al hecho de que se encuentra disponible como un reactivo fuerte, lo hacen un excelente reactivo acidificante, y valorante ácido (para determinar la cantidad de base en una volumetría). Es comúnmente utilizado en el análisis químico y para digerir muestras para análisis. Soluciones concentradas de este ácido pueden utilizarse para disolver algunos metales (metales activos), formando cloruros metálicos oxidados e hidrógeno gas^[3-4].

Propiedades físicas del ácido clorhídrico

Las propiedades físicas del ácido clorhídrico (Tabla 1.3), tales como puntos de fusión y ebullición, densidad, y pH dependen de la concentración o molaridad de HCl en la solución ácida^[3-4].

Tabla 1.3. Propiedades del ácido clorhídrico.

Conc. (m/m) C, kg HCl/kg, %	Conc. (m/v) C, Kg/m ³	Densidad ρ , kg/l	Moralidad M	pH	Viscosidad η , MPa·s	Calor específico S, kj/(kg. K)	Presión de vapor, kPa	Temp. De ebullición, ° C	Temp. De fusión, ° C
10	104.8	1.048	2.87	-0.5	1.16	3.47	0.527	103	-18
20	219.60	1.098	6.02	-0.8	1.37	2.99	27.3	108	-59
30	344.70	1.149	9.45	-1.0	1.70	2.60	1.410	90	-52
32	370.88	1.159	10.17	-1.0	1.80	2.55	3.130	84	-43
34	397.46	1.169	10.90	-1.0	1.90	2.50	6.733	71	-36
36	424.44	1.179	11.64	-1.1	1.99	2.46	14.100	61	-30
38	451.82	1.189	12.39	-1.1	2.10	2.43	28.000	48	-26

El ácido clorhídrico (HCl) se obtiene en el laboratorio por adición de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a sal (NaCl)^[3-4].

En la industria química se forman grandes cantidades de ácido clorhídrico en las reacciones orgánicas de cloración de las sustancias orgánicas con cloro elemental.

Otro método de producción a gran escala es el utilizado por la industria cloro-alcali, en la cual se electroliza una disolución de sal común (NaCl), produciendo cloro, hidróxido de sodio e hidrógeno. El gas cloro así obtenido puede ser combinado con el gas hidrógeno, formando gas HCl químicamente

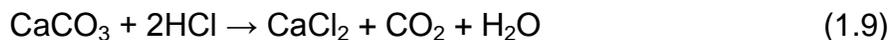
puro. Ya que la reacción es exotérmica, las instalaciones en las que se realiza son conocidas como horno de HCl^[3-4].

En agua se disuelven hasta 38 g/100 ml aunque a baja temperatura se pueden formar cristales de HCl·H₂O con un contenido del 68% de HCl. La disolución forma un azeótropo con un contenido del 20.2% de HCl en masa y un punto de ebullición de 108.6 °C^[3-4].

El ácido clorhídrico que se encuentra en el mercado suele tener una concentración del 25 o 38%. Las disoluciones de una concentración de algo más del 40% son químicamente posibles, pero la tasa de evaporación en ellas es tan alta que se tienen que tomar medidas de almacenamiento y manipulación extras. En el mercado es posible adquirir soluciones para uso doméstico de una concentración de entre 10 y 12%, utilizadas principalmente para la limpieza^[3-4].

Aplicaciones ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico es muy utilizado por su bajo costo, fuerte y volátil. El uso más conocido es ser un desincrustante para eliminar residuos de caliza (carbonato cálcico: CaCO₃). En esta aplicación se transforma el carbonato cálcico en cloruro cálcico más soluble y se liberan dióxido de carbono (CO₂) y agua^[3-4].



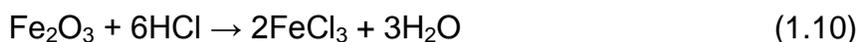
En química orgánica se aprovecha el ácido clorhídrico a veces en la síntesis de cloruros orgánicos, bien por sustitución de un grupo tipo de alcohol o

por adición del ácido clorhídrico a un alqueno aunque a menudo estas reacciones no transcurren de una manera muy selectiva^[3-4].

Otra importante aplicación del ácido clorhídrico de alta calidad es en la regeneración de resinas de intercambio iónico. El intercambio catiónico suele utilizarse para eliminar cationes como Na^+ y Ca^{2+} de disoluciones acuosas, produciendo agua desmineralizada^[3-4]. En donde el Na^+ es reemplazado por H_3O^+ , y el Ca^{2+} es reemplazado por $2 \text{H}_3\text{O}^+$.

En la industria alimenticia, por ejemplo, se utiliza en la producción de la gelatina disolviendo con ella la parte mineral de los huesos. En metalurgia a veces se utiliza para disolver la capa de óxido que recubre un metal, previo a procesos como galvanizado, extrusión, u otras técnicas^[3-4].

También, es un producto de partida en la síntesis de policloruro de aluminio o de cloruro férrico (FeCl_3)^[3-4]:



Efectos nocivos ácido clorhídrico

El cloruro de hidrógeno es irritante y corrosivo para cualquier tejido humano con el que tenga contacto. La exposición breve a bajos niveles produce irritación de la garganta. La exposición a niveles más altos puede producir respiración jadeante, estrechamiento de los bronquiolos, coloración azul de la piel, acumulación de líquido en los pulmones e incluso la muerte. La exposición a niveles aún más altos puede producir hinchazón y espasmos de la garganta y asfixia. Algunas personas pueden sufrir una reacción inflamatoria al cloruro de

hidrógeno. Esta condición es conocida como síndrome de malfuncionamiento reactivo de las vías respiratorias (en inglés, RADS), que es un tipo de asma causado por ciertas sustancias irritantes o corrosivas^[3-4].

La mezcla del ácido con agentes oxidantes de uso común, como la lejía, también llamada lavandina en algunas partes hipoclorito de sodio (NaClO) o permanganato de potasio (KMnO_4), produce el tóxico gas cloro^[3-4].

Dependiendo de la concentración, el cloruro de hidrógeno puede producir desde leve irritación hasta quemaduras graves de los ojos y la piel. La exposición prolongada a bajos niveles puede causar problemas respiratorios, irritación de los ojos y la piel y descoloramiento de los dientes^[3-4].

A pesar de estas características los jugos gástricos en el estómago humano contienen aproximadamente 3 % de ácido clorhídrico. En este caso ayuda a transformar las proteínas y desempeña un papel importante como coenzima de la pepsina en su digestión. También, ayuda en la hidrólisis de los polisacáridos presentes en la comida. Es secretado por las células parietales. Éstas contienen una extensiva red de secreción desde donde se secreta el HCl hacia el lumen del estómago^[3-4].

Diversos mecanismos previenen el daño del epitelio del tracto digestivo por este ácido:

- Reguladores negativos de su salida.
- Una gruesa capa mucosa que cubre al epitelio.
- Bicarbonato de sodio secretado por las células epiteliales gástricas y el páncreas.
- La estructura del epitelio.
- Un abastecimiento sanguíneo adecuado.

- Prostaglandinas (con múltiples efectos: estimulan las secreciones mucosas y de bicarbonato, mantienen la integridad de la barrera epitelial, permiten el adecuado flujo sanguíneo, estimulan la reparación de las membranas de la mucosa dañadas)^[3-4].

Cuando, por alguna razón, estos mecanismos fallan, se pueden producir pirosis o úlceras. Existen drogas llamadas inhibidores de bombas de protones que previenen que el cuerpo produzca exceso de ácido en el estómago, mientras que los antiácidos pueden neutralizar el ácido existente^[3-4].

También, puede ocurrir que no se produzca suficiente cantidad de ácido clorhídrico en el estómago. Estos cuadros patológicos son conocidos por los términos hipoclorhidria y aclorhidria y pueden conducir a una gastroenteritis^[3-4].

El ácido clorhídrico en contacto con ciertos metales puede desprender hidrógeno pudiendo formar atmósferas explosivas en el ambiente, esto puede ocurrir por ejemplo cuando se usa en los trabajos de decapado de metales^[3-4].

1.4.2. ÁCIDO SULFÚRICO

El ácido sulfúrico es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula química es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También, se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica^[5-9].

Generalmente se obtiene a partir de dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa. Normalmente después se llevan a

cabo procesos para conseguir una mayor concentración del ácido. Antiguamente se lo denominaba aceite o espíritu de vitriolo, porque se producía a partir de este mineral^[5-9].

La molécula presenta una estructura piramidal, con el átomo de azufre en el centro y los cuatro átomos de oxígeno en los vértices. Los dos átomos de hidrógeno están unidos a los átomos de oxígeno no unidos por enlace doble al azufre. Dependiendo de la disolución, estos hidrógenos se pueden disociar. En agua se comporta como un ácido fuerte en su primera disociación, dando el anión hidrógenosulfato, y como un ácido débil en la segunda, dando el anión sulfato^[5-9]. Además, reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor^[5-9].

Historia del ácido sulfúrico

El descubrimiento del ácido sulfúrico se relaciona con el siglo VIII y el alquimista Jabir ibn Hayyan. Fue estudiado después, en el siglo IX por el alquimista Ibn Zakariya al-Razi, quien obtuvo la sustancia de la destilación seca de minerales incluyendo la mezcla de sulfato de hierro (FeSO_4) con agua y sulfato de cobre (CuSO_4). Calentados, estos compuestos se descomponen en óxido de hierro y óxido de cobre, respectivamente, dando agua y óxido de azufre, que combinado produce una disolución diluida de ácido sulfúrico. Este método se hizo popular en Europa a través de la traducción de los tratados y libros de árabes y persas por alquimistas europeos del siglo XIII como el alemán Albertus Magnus^[5-9].

Los alquimistas de la Europa medieval conocían al ácido sulfúrico como aceite de vitriolo, licor de vitriolo, o simplemente vitriolo, entre otros nombres. La palabra vitriolo deriva del latín "vitreus", que significa cristal y se refiere a la

aparición de las sales de sulfato, que también reciben el nombre de vitriolo. Las sales denominadas así incluyen el sulfato de cobre (vitriolo azul o vitriolo romano), sulfato de zinc (o vitriolo blanco), sulfato de hierro (vitriolo verde), sulfato de hierro (vitriolo de Marte), y sulfato de cobalto (vitriolo rojo) ^[5-9].

El vitriolo era considerado la sustancia química más importante, y se intentó utilizar como piedra filosofal. Altamente purificado, el vitriolo se utilizaba como medio para hacer reaccionar sustancias entre ellos ^[5-9].

En el siglo XVII, el químico alemán-holandés Johann Glauber consiguió ácido sulfúrico quemando azufre con nitrato de potasio (KNO_3), en presencia de vapor. A medida que el nitrato de potasio se descomponía, el azufre se oxidaba en SO_3 , que combinado con agua producía el ácido sulfúrico. En 1736, Joshua Ward, un farmacéutico londinense utilizó este método para empezar a producir ácido sulfúrico en grandes cantidades ^[5-9].

En 1746 en Birmingham, John Roebuck empezó a producirlo de esta forma en cámaras de plomo, que eran más fuertes y resistentes y más baratas que las de cristal que se habían utilizado antes. Este proceso de cámara de plomo, permitió la efectiva industrialización de la producción de ácido sulfúrico, que con pequeñas mejoras mantuvo este método de producción durante al menos dos siglos ^[5-9].

El ácido obtenido de esta forma, tenía una concentración entre 35 y 40%. Mejoras posteriores, llevadas a cabo por el francés Joseph-Louis Gay-Lussac y el británico John Glover consiguieron aumentar esta cifra hasta el 78%. Sin embargo, la manufactura de algunos tintes y otros productos químicos que requerían en sus procesos una concentración mayor lo consiguieron en el siglo XVIII con la destilación en seco de minerales con una técnica similar a la de los alquimistas precursores. Quemando piritita (disulfuro de hierro) con sulfato de

hierro a 480 °C conseguía ácido sulfúrico de cualquier concentración, pero este proceso era muy caro y no era rentable para la producción industrial o a gran escala^[5-9].

En 1831, el vendedor de vinagre Peregrine Phillips patentó un proceso de obtención de óxido de azufre y ácido sulfúrico concentrado mucho más económico, ahora conocido como el proceso de contacto. Actualmente, la mayor parte del suministro de ácido sulfúrico se obtiene por este método^[5-9].

PRODUCCIÓN DEL ÁCIDO

El ácido sulfúrico se encuentra disponible comercialmente en un gran número de concentraciones y grados de pureza. Existen dos procesos principales para la producción de ácido sulfúrico, el método de cámaras de plomo y el proceso de contacto. El proceso de cámaras de plomo es el más antiguo de los dos procesos y es utilizado actualmente para producir gran parte del ácido consumido en la fabricación de fertilizantes. Este método produce un ácido relativamente diluido (62-78% H₂SO₄). El proceso de contacto produce un ácido más puro y concentrado, pero requiere de materias primas más puras y el uso de catalizadores costosos. En ambos procesos el dióxido de azufre (SO₂) es oxidado y disuelto en agua. El óxido de azufre es obtenido mediante la incineración de azufre, tostando piritas (disulfuro de hierro), tostando otros sulfuros no ferrosos, o mediante la combustión de sulfuro de hidrógeno (H₂S) gaseoso^[5-9].

Proceso de cámaras de plomo

En el proceso de cámaras de plomo el dióxido de azufre (SO₂) gaseoso caliente entra por la parte inferior de un reactor llamado torre de Glover donde

es lavado con vitriolo nitroso (ácido sulfúrico con óxido nítrico, NO, y dióxido de nitrógeno (NO₂) disueltos en él), y mezclado con óxido de nitrógeno (NO) y óxido de nitrógeno (NO₂) gaseosos. Parte de óxido de azufre es oxidado a óxido de azufre (SO₃) y disuelto en el baño ácido para formar el ácido de torre o ácido de Glover (~78% de H₂SO₄)^[5-9].

De la torre de Glover una mezcla de gases (que incluye óxido de azufre, óxidos de nitrógeno, nitrógeno, oxígeno y vapor) son transferidos a una cámara recubierta de plomo donde es tratado con más agua. La cámara puede ser un gran espacio en forma de caja o un recinto con forma de cono truncado. El ácido sulfúrico es formado por una serie compleja de reacciones; condensa en las paredes y es acumulado en el piso de la cámara. Pueden existir de tres a seis cámaras en serie, donde los gases pasan por cada una de las cámaras en sucesión. El ácido producido en las cámaras, generalmente llamado ácido de cámara o ácido de fertilizante, contiene de 62 a 68% de H₂SO₄^[5-9].

Luego de que los gases pasan por las cámaras se les hace pasar a un reactor llamado torre de Gay-Lussac donde son lavados con ácido concentrado y enfriados (proveniente de la torre de Glover). Los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre que no haya reaccionado se disuelven en el ácido formando el vitriolo nitroso utilizado en la torre de Glover. Los gases remanentes son usualmente liberados a la atmósfera^[5-9].

Proceso de contacto

El proceso se basa en el empleo de un catalizador para convertir el SO₂ a SO₃, del que se obtiene ácido sulfúrico por hidratación^[5-9].

En este proceso, una mezcla de gases secos que contiene del 7 al 10% de SO₂, según la fuente de producción de SO₂ (el valor inferior corresponde a

plantas que tuestan piritas y el superior a las que queman azufre), y de un 11 a 14% de O_2 , se precalienta y una vez depurada al máximo, pasa a un convertidor de uno o más lechos catalíticos, por regla general de platino o pentóxido de vanadio (V_2O_5), donde se forma el SO_3 . Se suelen emplear dos o más convertidores^[5-9].

Los rendimientos de conversión del SO_2 a SO_3 en una planta en funcionamiento normal oscilan entre 96 y 97%, pues la eficacia inicial del 98% se reduce con el paso del tiempo. Este efecto de reducciones se ve más evidente en las plantas donde se utilizan piritas de partida con un alto contenido de arsénico, que no se elimina totalmente y acompaña a los gases que se someten a catálisis, provocando el envenenamiento del catalizador. Por consiguiente, en ocasiones, el rendimiento puede descender hasta alcanzar valores próximos al 95%^[5-9].

En el segundo convertidor, la temperatura varía entre 500 y 600 °C. Esta se selecciona para obtener una constante óptima de equilibrio con una conversión máxima a un coste mínimo. El tiempo de residencia de los gases en el convertidor es aproximadamente de 2-4 segundos^[5-9].

Los gases procedentes de la catálisis se enfrían a ~100 °C y atraviesan una torre de óleum, para lograr la absorción parcial de SO_3 . Los gases residuales atraviesan una segunda torre, donde el SO_3 restante se lava con ácido sulfúrico de 98%. Por último, los gases no absorbidos se descargan a la atmósfera a través de una chimenea^[5-9].

Existe una marcada diferencia entre la fabricación del SO_2 por combustión del azufre y por tostación de piritas, sobre todo si son arsenicales. El polvo producido en el proceso de tostación nunca puede eliminarse en su

totalidad y, junto con las impurezas, principalmente arsénico y antimonio, influyen sensiblemente sobre el rendimiento general de la planta ^[5-9].

La producción de ácido sulfúrico por combustión de azufre elemental presenta un mejor balance energético pues no tiene que ajustarse a los sistemas de depuración tan rígidos forzosamente necesarios en las plantas de tostación de pirritas ^[5-9].

Aplicaciones

La industria que más utiliza el ácido sulfúrico es la de los fertilizantes. El nitrosulfato amónico es un abono nitrogenado simple obtenido químicamente de la reacción del ácido nítrico y sulfúrico con amoníaco ^[5-9].

Otras aplicaciones importantes se encuentran en la refinación del petróleo, producción de pigmentos, tratamiento del acero, extracción de metales no ferrosos, manufactura de explosivos, detergentes, plásticos y fibras ^[5-9].

En muchos casos el ácido sulfúrico funge como una materia prima indirecta y pocas veces aparece en el producto final ^[5-9].

En el caso de la industria de los fertilizantes, la mayor parte del ácido sulfúrico se utiliza en la producción del ácido fosfórico, que a su vez se utiliza para fabricar materiales fertilizantes como el superfosfato triple y los fosfatos de mono y diamonio. Cantidades más pequeñas se utilizan para producir superfosfatos y sulfato de amonio. Alrededor del 60% de la producción total de ácido sulfúrico se utiliza en la manufactura de fertilizantes ^[5-9].

Cantidades substanciales de ácido sulfúrico también se utilizan como medio de reacción en procesos químicos orgánicos y petroquímicos involucrando reacciones como nitraciones, condensaciones y deshidrataciones.

En la industria petroquímica se utiliza para la refinación, alquilación y purificación de destilados de crudo^[5-9].

En la industria química inorgánica, el ácido sulfúrico se utiliza en la producción de pigmentos de óxido de titanio, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico^[5-9].

En el procesado de metales el ácido sulfúrico se utiliza para el tratamiento del acero, cobre, uranio y vanadio, y en la preparación de baños electrolíticos para la purificación y plateado de metales no ferrosos^[5-9].

Algunos procesos en la industria de la Madera y el papel requieren ácido sulfúrico, así como algunos procesos textiles, fibras químicas y tratamiento de pieles y cuero.

En cuanto a los usos directos, probablemente el uso más importante es el sulfuro que se incorpora a través de la sulfonación orgánica, particularmente en la producción de detergentes. Un producto común que contiene ácido sulfúrico son las baterías, aunque la cantidad que contienen es muy pequeña.^[5-9]

Precauciones

La preparación de una disolución de ácido puede resultar peligrosa por el calor generado en el proceso. Es vital que el ácido concentrado sea añadido al agua (y no al revés) para aprovechar la alta capacidad calorífica del agua. En caso de añadir agua al ácido concentrado, pueden producirse salpicaduras de ácido^[5-9].

1.4.3. CLORURO DE ZINC

El cloruro de Zinc es un compuesto químico cuya fórmula es ZnCl_2 . Se conocen nueve formas cristalinas diferentes de cloruro de zinc, incoloras o blancas, muy solubles en agua. El ZnCl_2 es higroscópico e incluso deliquescente. Por lo tanto, las muestras deben protegerse de las fuentes de humedad, incluido el vapor de agua presente en el medio ambiente^[5,10-19].

El cloruro de zinc tiene muchas aplicaciones en los procesos textiles, fabricación de decapantes (flux, del inglés) y de catalizadores para síntesis orgánica^[5,10-19].

Estructura y propiedades básicas

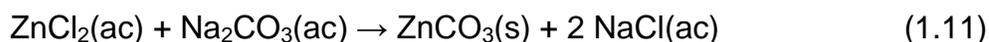
El cloruro de zinc presenta polimorfismo, se conocen cuatro formas cristalinas, llamadas polimorfos. En todos los casos el ion Zn^{2+} presenta coordinación tetraédrica con cuatro ligandos cloruro. Por enfriamiento rápido de ZnCl_2 fundido se obtiene un vidrio, es decir, un sólido amorfo. Adicionalmente el ZnCl_2 forma hidratos por inclusión de agua de cristalización, y al menos un hidróxido mixto, ZnClOH ^[5,10-19].

La forma anhidra presenta un enlace con marcado carácter covalente que se manifiesta en su relativamente bajo punto de fusión, entre 275 y 318 °C. Otras evidencias de su covalencia es su alta solubilidad en solventes como el éter, con los que forma aductos de fórmula ZnCl_2L_2 donde L es un ligando tal como dietiléter, $\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ ^[5,10-19].

Sus soluciones acuosas presentan carácter ácido, debido a que el ion Zn^{2+} es un ácido de Lewis. Por ejemplo una solución acuosa 6 M tiene un pH de 1.2^[5,10-19].

Se conocen cuatro hidratos de cloruro de zinc. Los cuatro hidratos de cloruro de zinc tienen la fórmula $\text{ZnCl}_2 (\text{H}_2\text{O})_n$ donde $n = 1, 1.5, 2.5, \text{ y } 3.2$. El 4-hidrato, $\text{ZnCl}_2 (\text{H}_2\text{O})_4$ cristaliza a partir de disoluciones acuosas de cloruro de zinc. Cuando se calienta el cloruro de zinc hidratado a partir de una disolución acuosa, se obtiene un residuo de ZnOHCl [5,10-19].

En solución acuosa, el cloruro de zinc se disocia por completo dando iones Zn^{2+} . Por ello, aunque las distintas sales de zinc tienen diferentes fórmulas y estructuras cristalinas, su comportamiento en solución acuosa es muy similar. Por ejemplo, las soluciones de los diferentes polimorfos de ZnCl_2 , así como las de otros haluros (bromuro, ioduro) y la de sulfato de zinc, a menudo se pueden utilizar en forma indistinta para la preparación de otros compuestos de zinc. Un ejemplo de esto es la obtención de carbonato de zinc [5,10-19].



Dónde: "ac" significa estado acuoso y "s" simboliza estado sólido

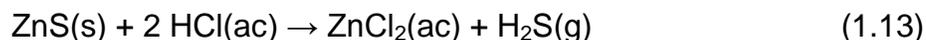
Síntesis y purificación

La sal anhidra ZnCl_2 puede prepararse a partir de zinc y cloruro de hidrógeno [5, 10-19].



Las formas hidratadas y disoluciones acuosas pueden prepararse fácilmente por tratamiento de piezas de zinc metálico con ácido clorhídrico concentrado^[5,10-19].

El óxido de zinc y sulfuro de zinc reaccionan con HCl, así:



Dónde: “g” significa estado gaseoso, “s” simboliza estado sólido y “ac” simboliza acuoso

A diferencia de otros elementos que poseen varios estados de oxidación, el ion zinc solamente existe con carga +2 por lo que su purificación es más simple^[5,10-19].

Las muestras comerciales de cloruro de zinc contienen como impurezas típicas algo de agua y productos de hidrólisis. Tales muestras pueden purificarse por extracción con dioxano en caliente, que lo disuelve. Luego se filtra en caliente y al enfriar el filtrado se obtiene un precipitado de ZnCl_2 . Las muestras anhidras se purifican por sublimación en una corriente de cloruro de hidrógeno gas, seguido de calentamiento a 400 °C en corriente de gas nitrógeno. Finalmente, el método más simple parte del tratamiento de cloruro de zinc con cloruro de tionilo^[5,10-19].

APLICACIONES

Decapante en metalurgia

El cloruro de zinc tiene la capacidad de atacar a los óxidos metálicos dando derivados de fórmula MZnOCl_2 . Esta reacción es importante por el uso del ZnCl_2 como decapante en soldadura metálica, disuelve las capas de óxido

exponiendo la superficie de metal limpio. Estos decapantes se preparan disolviendo una hoja metálica de zinc en ácido clorhídrico hasta que el líquido deja de desprender hidrógeno. Debido a su naturaleza corrosiva, este decapante no es adecuado para situaciones en las que no puedan limpiarse los residuos, tales como en trabajos de electrónica. Esta propiedad también permite su uso en la fabricación de cementos de óxido de magnesio para empaste dental y como ingrediente activo en ciertos enjuagues bucales^[5,10-19].

Consideraciones de seguridad

Las sales de zinc son relativamente no tóxicas. Las precauciones aplicables al cloruro de zinc anhidro $ZnCl_2$ son las mismas que se aplican a otros haluros de metal anhidro, esto es, la hidrólisis puede ser exotérmica y debería evitarse el contacto. Las disoluciones concentradas son ácidas y corrosivas, atacando específicamente a la celulosa y la seda^[5,10-19].

1.4.4 CLORURO DE AMONIO

El cloruro de amonio, también llamado sal amoníaco o cloruro amoníaco, es como lo indica su nombre una sal de amonio, y su fórmula química es NH_4Cl ^[5,10-19].



Esta sal se obtiene a partir de la reacción de ácido clorhídrico y amoníaco.

Habitualmente se encuentra en forma de polvo blanco o incoloro. Es inodoro e higroscópico ^[5,10-19].

Es soluble en agua, disociándose parcialmente, formando un ácido débil. Su solubilidad aumenta con la temperatura según la Tabla 1.4 ^[5,10-19].

Tabla 1.4. Solubilidad del cloruro de amonio en 100 g de agua en función de la temperatura.

Temperatura, °C	Solubilidad del cloruro de amonio en 100 g de agua, g
0	29.7
20	54.6
80	66.1
100	73.0

Precauciones

El cloruro de amonio se descompone si es sometido a altas temperaturas, liberando humos tóxicos e irritantes, como amoníaco, óxidos de nitrógeno y cloruro de hidrógeno ^[20].

Esta sustancia puede reaccionar con violencia en contacto con nitrato de amonio y clorato de potasio, causando explosiones y peligro de incendio. Se debe conservar en lugar seco y fresco, alejado de las sustancias con las que pueda reaccionar ^[20].

El contacto de esta sustancia con la piel y los ojos, también causa irritación, enrojecimiento y dolor. En estos casos, se debe enjuagar la zona con abundante agua y jabón, al menos durante quince minutos ^[20].

El cloruro de amonio puede causar irritación de nariz y garganta, si es inhalado en forma de humo o polvillo, en grandes cantidades. También, puede causar náuseas, vómitos, dolor de garganta, y acidosis. En caso de inhalación de esta sustancia, se recomienda trasladar al paciente a un lugar aireado

cuando presentan dificultades respiratorias, administrar oxígeno o respiración artificial^[20].

Aplicaciones

El cloruro de amonio tiene distintas y variadas aplicaciones, se usa en la fabricación de pilas secas, en los procesos de galvanizado y estañado de zinc, como fundente en soldaduras, como removedor de óxido en metales, también es utilizado en la industria textil, en alfarería, entre otros^[20].

También, tiene usos en el campo de la medicina, es este sentido, se ha usado cloruro de amonio como diurético, ya que en el cuerpo humano, aumenta la excreción renal de cloruros y sodio. Además, ha sido usado como expectorante, ya que irrita la mucosa bronquial, aumentando la secreción de las sub glándulas^[20].

El cloruro de amonio se absorbe con facilidad por la vía gastrointestinal, es metabolizado en el hígado y se excreta principalmente por la orina^[20].

Su uso está contraindicado en pacientes con afecciones hepáticas, ya que puede almacenarse y causar intoxicación por amoníaco^[20].

1.4.5 ZINC

El zinc es un metal o mineral, a veces clasificado como metal de transición aunque estrictamente no lo sea. Este elemento presenta cierto parecido con el magnesio como se ve en la Fig. 1.9, y con el cadmio de su grupo, pero del mercurio se aparta mucho por las singulares propiedades físicas y químicas de éste (contracción lantánida y potentes efectos relativistas sobre orbitales de enlace). Como elemento en abundante en la Tierra es el # 23 y una

de sus aplicaciones más importantes es para el galvanizado del acero ^[31-32] (más información en **Anexo 2**).



Fig. 1.9. Zinc en estado puro.

Es un metal de color blanco azulado que arde en aire con llama verde azulada. El aire seco no le ataca pero en presencia de humedad se forma una capa superficial de óxido o carbonato básico que aísla al metal y lo protege de la corrosión. Prácticamente el único estado de oxidación que presenta es el +2. En el año 2004 se publicó en la revista Science el primer y único compuesto conocido de zinc en estado de oxidación +1, basado en un complejo organometálico con el ligando pentametilciclopentadieno. Reacciona con ácidos no oxidantes pasando al estado de oxidación +2 y liberando hidrógeno y puede disolverse en bases y ácido acético ^[31-32].

El metal presenta una gran resistencia a la deformación plástica en frío que disminuye en caliente, lo que obliga a laminarlo por encima de los 100 °C. No se puede endurecer por acritud y presenta el fenómeno de fluencia a temperatura ambiente, al contrario que la mayoría de los metales y aleaciones, y pequeñas cargas el más importante ^[31-32].

Historia

La etimología de zinc parece que viene del alemán Zink, este del Zinken (en español pico, diente) ^[27], para indicar el aspecto con filos dentados del

mineral calamina, luego fue asumido para el metal obtenido a partir de él, no obstante otras fuentes consideran que viene de la palabra persa para piedra ^[30].

Es un elemento químico esencial de número atómico 30 y símbolo Zn situado en el grupo 12 de la Tabla Periódica de los elementos.

Ambas variantes gráficas “zinc” o “cinc”, son aceptadas como válidas. La forma con c inicial, “cinc”, es preferida por la Real Academia Española por acomodarse mejor al patrón ortográfico del español ^[28-29], aunque la forma con z, “zinc”, es más cercana a la etimología ^[30].

Las aleaciones de zinc se han utilizado durante siglos, piezas de latón datadas en 1000-1500 a.C. se han encontrado en Canaán y otros objetos con contenidos de hasta el 87 % de zinc han aparecido en la antigua región de Transilvania. Sin embargo, por su bajo punto de fusión y reactividad química el metal tiende a evaporarse por lo que la verdadera naturaleza del metal no fue comprendida por los antiguos ^[30].

Se sabe que la fabricación de latón era conocida por los romanos hacia 30 a.C. Plinio y Dioscórides describen la obtención de aurichalcum (latón) por el procedimiento de calentar en un crisol una mezcla de cadmia (calamina) con cobre; el latón obtenido posteriormente era fundido o forjado para fabricar objetos ^[30].

La fusión y extracción de zinc impuro se llevó a cabo hacia el año 1000 en India, en la obra Rasarnava, allá por el 1200 d.C., de autor desconocido se describe el procedimiento, y posteriormente en China y a finales del siglo XIV los indios conocían ya la existencia del zinc como metal distinto de los siete conocidos en la Antigüedad, el octavo metal. En 1597 Andreas Libavius describe un “peculiar clase de estaño” que había sido preparada en la India, y llegó a sus manos en pequeña cantidad a través de un amigo; de sus

descripciones se deduce que se trataba del zinc aunque no llegó a reconocerlo como el metal procedente de la calamina ^[30].

En occidente, hacia 1248, Alberto Magno describe la fabricación de latón en Europa, y en el siglo XVI ya se conocía la existencia del metal. Georgius Agricola (1490-1555) observó en 1546 que podía rascarse un metal blanco condensado de las paredes de los hornos en los que se fundían minerales de zinc; añadiendo en sus notas que un metal similar denominado zincum se producía en Silesia Paracelso fue el primero en sugerir que el zincum era un nuevo metal y que sus propiedades diferían de los metales conocidos. No obstante, ninguna indicación sobre su origen; en los escritos de Basilio Valentino se encuentran también menciones del zincum. A pesar de ello, en tratados posteriores las frecuentes referencias al zinc, con sus distintos nombres, se refieren generalmente al mineral no al metal libre y en ocasiones se confunde con el bismuto ^[30].

Johann Kunkel en 1677 y poco más tarde Stahl en 1702 indican que al preparar el latón con el cobre y la calamina ésta última se reduce previamente al estado de metal libre, el zinc, que fue aislado por el químico Anton von Swab en 1742 y por Andreas Marggraf en 1746, cuyo exhaustivo y metódico trabajo sobre el método de extracción del zinc de su mineral verdadero, la calamina cimentó la metalurgia del zinc y su reputación como descubridor del metal ^[30].

En 1743 se fundó en Bristol el primer establecimiento para la fundición del metal a escala industrial pero su procedimiento quedó en secreto por lo que hubo que esperar 70 años hasta que Daniel Dony desarrollara un procedimiento industrial para la extracción del metal y se estableciera la primera fábrica en el continente europeo ^[30].

Tras el desarrollo de la técnica de flotación del sulfuro de zinc se desplazó a la calamina como mena principal. El método de flotación es hoy día empleado en la obtención de varios metales ^[30].

La principal aplicación del zinc, cerca del 50% del consumo anual, es el galvanizado del acero para protegerlo de la corrosión, protección efectiva incluso cuando se agrieta el recubrimiento ya que el zinc actúa como ánodo de sacrificio. Otros usos incluyen ^[31-32]:

- 1) Baterías de Zn-AgO (zinc-Plata-oxígeno) usadas en la industria aeroespacial para misiles y cápsulas espaciales por su óptimo rendimiento por unidad de peso y baterías zinc-aire para computadoras portátiles.
- 2) Piezas de fundición inyectada en la industria de automoción.
- 3) Metalurgia de metales preciosos y eliminación de la plata del plomo.
- 4) Utilizado en fabricación de pinturas al óleo, para fabricar el color blanco de zinc, utilizado para crear transparencias en la pintura.
- 5) Utilizado en la fabricación de latón, junto con cobre.

Abundancia y obtención

En la Tabla 1.5 se presenta la producción mundial de zinc durante 2011 que alcanzó un total de 12.40 millones de toneladas métricas de zinc. El principal país productor es China, seguido por Perú y Australia.

Tabla 1.5. Producción mundial de zinc durante 2011 por país

Posición	País	En millones de toneladas x año
1	China	3.90
2	Perú	1.40
3	Australia	1.40
4	India	0.79
5	Estados Unidos	0.76
6	Canadá	0.66
7	México	0.63
8	Kazajistán	0.50
9	Bolivia	0.43
10	Irlanda	0.35

Fuente: United States Geological Survey (USGS)-2011

Las minas más ricas contienen cerca de un 10 % de hierro y entre el 40 y 50 % de zinc. Los minerales de los que se extrae son: el sulfuro de zinc conocido como esfalerita en USA y blenda en Europa; smithsonita (carbonato) en USA, y calamina en Europa.

De acuerdo a información entregada en el informe anual del United States Geological Survey (USGS), las estimaciones señalan que las reservas económicamente explotables de zinc en el 2011 a nivel mundial alcanzarían 250 millones de toneladas métricas. Repartiéndose entre China, Estados Unidos, Perú y Kazajistán. Las reservas conocidas son 23 (incluyendo aquellas cuya explotación hoy en día no son rentables) rozan los 2000 millones de toneladas ^[35].

La producción del zinc comienza con la extracción del mineral, que puede realizarse tanto a cielo abierto como en yacimientos subterráneos. Los minerales extraídos se trituran con posterioridad y se someten a un proceso de flotación para obtener el concentrado ^[31-34].

Los minerales con altos contenidos de hierro se tratan por vía seca: primeramente se tuesta el concentrado para transformar el sulfuro en óxido, que

recibe la denominación de calcina, y a continuación se reduce éste con carbono obteniendo el metal (el agente reductor es en la práctica el monóxido de carbono formado). Las reacciones en ambas etapas son ^[31-34]:



Otra forma más sencilla y económica de reducir el óxido de zinc es con carbono. Se colocan dos moles o porciones molares de óxido de zinc (ZnO), y un mol de carbono (C), en un recipiente al vacío para evitar que el metal se incendie con el aire en el momento de purificarse, dando como resultado nuevamente óxido de zinc. En esta etapa, la reducción del óxido de zinc, se expresa de la siguiente manera ^[31-34].



Por vía húmeda primeramente se realiza el tueste obteniendo el óxido que se lixivia con ácido sulfúrico diluido; las lejías obtenidas se purifican separando las distintas fases presentes. El sulfato de zinc se somete posteriormente a electrólisis con ánodo de plomo y cátodo de aluminio sobre el cual se deposita el zinc formando placas de algunos milímetros de espesor que se retiran cada cierto tiempo. Los cátodos obtenidos se funden y se cuela el metal para su comercialización ^[31-34].

Como subproductos se obtienen diferentes metales como mercurio, óxido de germanio, cadmio, oro, plata, cobre, plomo en función de la composición de los minerales. El dióxido de azufre obtenido en la tostación del mineral se usa para producir ácido sulfúrico que se reutiliza en el lixiviado comercializando el excedente producido ^[31-34].

Los tipos de zinc obtenidos se clasifican en función de su pureza ^[31-34].

SHG, Special High Grade (99.99%)

HG, High Grade (99.90%)

PWG Prime Western Grade (98%).

La norma ASTM B6 considera cinco grados Z1 a Z5 con contenidos de zinc entre 99.995 y 98.5% y existen normas equivalentes en Japón y Australia. Para armonizar, todas ellas, la Organización Internacional para la Estandarización publicó en 2004 la norma ISO 752 sobre clasificación y requisitos del zinc primario ^[31-34].

Aleaciones

Las aleaciones más empleadas son las de aluminio (3.5 - 4.5%, Zamak; 11 - 13%, Zn-Al-Cu-Mg; 22%, Prestal, aleación que presenta superplasticidad) y cobre (alrededor del 1%) que mejoran las características mecánicas del zinc y su aptitud al moldeo.

Es componente minoritario en aleaciones diversas, principalmente de cobre como latones (3 a 45% de zinc), alpacas (Cu-Ni-Zn) y bronces (Cu-Sn) de moldeo ^[31-32].

Compuestos

El óxido de zinc es el más conocido y utilizado industrialmente, especialmente como base de pigmentos blancos para pintura, pero también en la industria del caucho y en cremas solares. Otros compuestos importantes son: sulfato de zinc (nutriente agrícola y uso en minería), cloruro de zinc (desodorantes) y sulfuro de zinc (pinturas luminiscentes).

Isótopos ^[31-34].

El zinc existente en la naturaleza está formado por cuatro isótopos estables, Zn-64 (48.6%), Zn-66, Zn-67, y Zn-68. Se han caracterizado 22 radioisótopos de los que los más estables son Zn-65 y Zn-72 con periodos de semi-desintegración de 244.26 días y 46.5 horas, respectivamente; el resto de isótopos radioactivos tienen periodos de semi-desintegración menores que 14 horas y la mayoría menores que un segundo. El zinc tiene cuatro estados metaestables ^[33].

Precauciones

El zinc metal no está considerado como tóxico pero sí algunos de sus compuestos como el óxido y el sulfuro. En la década de los 40 se observó que en la superficie del acero galvanizado se forman con el tiempo "bigotes de zinc" (zinc whiskers) que pueden liberarse al ambiente provocando cortocircuitos y fallos en componentes electrónicos. Estos bigotes se forman tras un período de incubación que puede durar días o años y crecen a un ritmo del orden de 1 mm al año. El problema causado por estos bigotes se ha agudizado con el paso del tiempo por haberse construido las salas de ordenadores y equipos informáticos sobre suelos elevados para facilitar el cableado en las que era común el uso de acero galvanizado, tanto en la estructura portante como en la parte posterior de las baldosas. Las edades de dichas salas, en muchos casos de 20 o 30 años propician la existencia de pelos en cantidades y longitudes peligrosas susceptibles de provocar fallos informáticos. Además, la progresiva miniaturización de los equipos disminuye la longitud necesaria para provocar el fallo y los pequeños voltajes de funcionamiento impiden que se alcance la temperatura de fusión del metal provocando fallos crónicos que pueden ser incluso intermitentes ^[31-34].

1.5 DISPOSITIVOS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE GALVANIZADO EN GENERAL

Los equipos a utilizar son básicamente:

- Un lugar bien ventilado donde puedan extraerse los gases que se liberan en los diferentes procesos de limpieza decapado y baño de sales con el fin de garantizar que los estudiantes que realicen el proceso de galvanizado no sufran de intoxicación, mareos o cualquier efecto que pueda causar la exposición a los químicos con los que han de trabajar.
- Equipos de protección como máscaras antigases, guates de látex u otro material resistente a los químicos ácido sulfúrico o clorhídrico.
- Paños para el secado de las piezas después del lavado con agua.
- Depósitos resistentes a los químicos antes mencionados como lo pueden ser los poliuretanos de media y alta densidad como también cerámicos.
- Herramientas de manejo de las piezas como tenazas o pinzas o incluso depósitos de redes que soporten el ataque de los químicos antes mencionados de preferencia poliuretano de alta densidad para mayor resistencia a los químicos.
- Depósitos de almacenamiento tanto para los materiales a utilizar así como los equipos y herramientas
- Un horno secador y ventilador con el que se pueda dar un secado apropiado a las herramientas previo al zincado.
- Un horno que pueda alcanzar y mantener temperaturas de unos 460 °C.
- Crisoles que puedan soportar el ataque de los químicos sal de amonio y cloruro de zinc y el mismo zinc a altas temperaturas.
- Equipos para la manipulación y protección de objetos calientes

- Un lugar para realizar enfriamientos al aire libre o en agua, y donde se puedan almacenar durante un tiempo prolongado.

1.5.1 MATERIALES UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE GALVANIZADO EN GENERAL

- Ácido Clorhídrico
- Ácido sulfúrico
- Cloruro de Amonio
- Cloruro de zinc
- Zinc en un 98% de pureza mínimo (según especificación ASTM B6)
- Agua destilada
- Varios (artículos de limpieza, conexiones eléctricas etc.)

1.6 ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS

El manejo y almacenamiento de los productos químicos antes mencionados es de vital importancia para evitar inconvenientes y accidentes en el área de trabajo que puedan poner en peligro tanto la vida e integridad de los operarios como de la calidad y garantía de los productos a galvanizar es por eso que se debe conocer todo acerca de cómo almacenar y manejar dichos productos químicos ^[36-38].

1.6.1 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL ÁCIDO CLORHÍDRICO

En el **anexo 3** se presenta la ficha técnica del ácido Clorhídrico un químico utilizado en el proceso de decapado para el galvanizado, en esta ficha se describirán los procesos, formas de como almacenar y transportar dicho producto ^[36].

1.6.2 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL ÁCIDO SULFÚRICO

Se presenta un fragmento del documento “Reglamento Transporte Ácido Sulfúrico” ^[37].

Reglamento de Transporte, Almacenamiento y Manejo de Ácido Sulfúrico

Objetivo:

Establecer normas generales y específicas que se deben adoptar en el almacenamiento, transporte y manipulación de ácido sulfúrico, a fin de controlar los riesgos potenciales de accidentes en las operaciones. El presente reglamento es aplicable a Minera Pampa de Cobre S.A, tanto a personal propio como a Empresas Contratistas ^[37].

Generalidades:

El ácido sulfúrico es un líquido aceitoso transparente e incoloro cuando se encuentra en estado puro y de color marrón cuando contiene impurezas. Es un ácido fuerte, que cuando se calienta por encima de 30 °C desprende vapores y por encima de 200 °C emite trióxido de azufre, reacciona con todos los metales generando hidrógeno, cuando está caliente su reactividad se intensifica. Tiene gran afinidad con el agua y es por esta razón que extrae el agua de las materias

orgánicas deshidratándolas. En contacto con la piel o los ojos, el ácido sulfúrico provoca quemaduras graves. Su ingestión puede causar severos daños para la salud de las personas. La inhalación de vapores concentrados o emanaciones desde un ácido caliente, puede ser dañino para los pulmones. El ácido mismo no es inflamable, pero en concentraciones altas puede provocar llamas, por contacto con combustibles líquidos y sólido. Un resumen de sus propiedades se presenta en la Tabla 1.6 ^[37].

Tabla 1.6. Propiedades y características del ácido sulfúrico.

Nombre:	Ácido Sulfúrico
Fórmula	H ₂ SO ₄ .
Estado físico	Líquido.
Color	Claro, de incoloro a turbio.
Olor	Agudo y penetrante.
Punto de inflamación	No tiene.
Corrosividad	Altamente corrosivo a casi todos los metales, particularmente a baja concentración, con desprendimiento de hidrógeno
Reactividad	Además de atacar a muchos metales en su forma concentrada, es un agente fuertemente oxidante y puede causar inflamación en contacto con materiales orgánicos, carburos, cloratos, también reacciona exotérmicamente con el agua
Higroscopicidad	Sí.

Todo el personal a cargo del almacenamiento, operación, transporte, carga y descarga del ácido sulfúrico, indicado en el presente reglamento, debe dar cumplimiento a cada una de las disposiciones establecidas ^[37].

En las operaciones de carga y descarga de ácido sulfúrico, el personal debe usar en todo momento los siguientes elementos de protección personal:

- Gafas o lentes resistentes al impacto ^[37].
- Careta larga completa 8 pulg. como mínimo. Estos se usarán además de las gafas ^[37].
- Botas de goma con punta de acero.
- Respirador con filtro para ácido.

- Casco de seguridad.
- Ropa de trevira antiácida.
- Pantalón y chaqueta impermeable.
- Guantes de PVC, tipo mosquetero.
- Además de otros que correspondan según riesgos ambientales.

El jefe a cargo del trabajo debe controlar el fiel cumplimiento del uso y cuidado de los elementos de protección personal ^[37].

Todas las instalaciones y equipos donde se transporta, almacena y maneja ácido sulfúrico, deben estar eléctricamente conectados a tierra ^[37].

En todo lugar donde se trabaja con ácido sulfúrico debe haber una guía de primeros auxilios, que instruya exactamente sobre las medidas a tomar para atender a personas accidentadas por ácido ^[37].

En la estación de vaciado de ácido sulfúrico y en los puntos de adición de ácido al proceso deben existir duchas de emergencia y lavaojos, ubicándose en lugares de fácil y rápido acceso, bien señalizados. Ellas deben ser capaces de suministrar grandes cantidades de agua bajo presiones moderadas. Estos equipos de seguridad deben ser revisados y probados cada 15 días, por el jefe responsable del área y registrar la inspección en un libro destinado especialmente para ello ^[37].

Del almacenamiento

En los sectores de almacenamiento, redes y sitios de manejo de ácido sulfúrico, se deben mantener señalización adecuada ^[37].

Las redes de descarga y los contenedores que contengan ácido sulfúrico deben ser ubicados en sectores que permitan restringir el acceso de personas

ajenas a la operación. Además, debe evitarse que queden expuestas a accidentes con vehículos y/o maquinarias ^[37].

La Superintendencia de Mantenimiento, debe mantener un programa periódico de inspección de espesores de las planchas de los contenedores de almacenamiento, revestimiento de la lámina de HDPE, cañerías, sellos, etc., y en general al sistema de distribución del ácido sulfúrico ^[37].

El almacenamiento de ácido sulfúrico en contenedores de acero supone siempre la presencia de hidrógeno. La concentración de hidrógeno en el aire desde 4 a 75 % en volumen forma mezclas explosivas. Por esto, está prohibido terminantemente el uso de llama abierta, herramientas o equipos que produzcan chispas, etc., en las cercanías de los contenedores ^[37].

Operaciones con ácido sulfúrico

Toda el área de pilas de lixiviación debe estar claramente señalizada con letreros que indiquen “PRECAUCIÓN SOLUCIONES ÁCIDAS” ^[37].

Sólo las personas entrenadas y autorizadas por la Superintendencia de Planta podrán ingresar al área de trabajo y manipular, el ácido o soluciones ácidas ^[37].

Los accesos a pilas y piscinas deberán estar libres de obstáculos. Las inspecciones se deben realizar preferentemente con luz natural.

El mantenimiento se debe ejecutar con los equipos detenidos o sin alimentación y que hayan sido previamente ventilados ^[37].

Vigilancia médica y primeros auxilios

Los trabajadores que puedan estar expuesto al riesgo de inhalación de nieblas de ácido sulfúrico, se les deben de realizar unos exámenes pre-

ocupacional previo al ingreso a dicho trabajo, no siendo declarados aptos los individuos con enfermedades del aparato respiratorio, digestivo o del sistema nervioso ni los que presentan afecciones o sensibilizaciones de la piel o de los ojos ^[37].

Proyecciones y salpicaduras cutáneas

- En el evento que un trabajador haya sido afectado por proyección y/o salpicaduras de ácido llevar al accidentado inmediatamente bajo la ducha de emergencia más cercana, quitando rápidamente la ropa de las zonas afectadas, cortando la ropa si es necesario y procediendo a un lavado con abundante agua bajo la ducha ^[37].
- Espolvorear con bicarbonato sódico las zonas del cuerpo afectadas.
- Volver a lavar bajo la ducha.
- Secar cuidadosa y suavemente con una toalla o tela limpia y suave.
- Si existen quemaduras, enrojecimiento, ampollas o lesiones, aplicar una cura seca y esterilizada.
- Retirar al accidentado a una habitación limpia y bien ventilada.
- Si el rostro está rojo, acostarlo con el cuerpo elevado, pero si está pálido, acostarlo boca arriba, cabeza vuelta a un lado y piernas elevadas ^[37].
- El lesionado debe ser evaluado lo más pronto posible por un paramédico o por un trabajador capacitado en primeros auxilios avanzados en el tratamiento de proyección y salpicaduras de ácido sulfúrico a la piel ^[37].

Proyecciones oculares

- Lavar inmediatamente el ojo u ojos alcanzados con agua corriente a poca presión durante 15 minutos, manteniendo los párpados del accidentado bien abiertos y pidiéndole que mueva los ojos en todas direcciones ^[37].
- Si persiste el dolor después del lavado se pone una o dos gotas de colirio anestésico ^[37].
- Repetir el lavado hasta que el ojo vuelva a su normalidad, lo que se podrá saber tocando el blanco del ojo con un papel de pH ^[37].
- El lesionado debe ser evaluado lo más pronto posible por un paramédico o por un trabajador capacitado en primeros auxilios avanzados en el tratamiento de proyección de ácido sulfúrico a los ojos ^[37].

Ingestión

- Lavarle la boca con abundante agua.
- Llevarlo a una habitación despejada y bien ventilada.
- Si la cara está roja, acostar con el cuerpo elevado, pero si está pálido, acostarlo boca arriba, cabeza hacia un lado y piernas elevadas.
- Desabrocharle el cuello de la camisa, cinturón y prendas que le opriman.
- Dar a beber cuánta agua desee y si es posible administrar leche a voluntad, lechada de cal, magnesio, aceite o huevos frescos (crudos).
- Taparlo con una frazada y no dejar que se enfríe.
- Recurrir si es preciso a métodos de reanimación (respiración artificial boca a boca). En caso de que exista aparato de inhalación de oxígeno, éste debe ser utilizado exclusivamente por una persona capacitada con la operación ^[37].

- El lesionado debe ser evaluado lo más pronto posible por un paramédico o por un trabajador capacitado en primeros auxilios avanzados en el tratamiento de ingestión con ácido sulfúrico ^[37].

Inhalación

- Retirar al accidentado inmediatamente del área contaminada.
- Llevar a una habitación despejada y bien ventilada.
- Si la cara está roja, acostar con el cuerpo elevado, pero si está pálido acostar boca arriba, cabeza vuelta hacia un lado y piernas elevadas.
- Desabrochar el cuello de la camisa, cinturón y prendas que le opriman, tapar con una frazada y no dejar que se enfríe.
- Recurrir si es preciso a métodos de reanimación.
- El lesionado debe ser evaluado lo más pronto posible por un paramédico o por un trabajador capacitado en primeros auxilios avanzados en el tratamiento de inhalación de aerosoles provenientes de ácido sulfúrico ^[37]

1.6.3 MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL CLORURO DE ZINC

- Identificación de peligros ^[38]
- Nocivo por ingestión. Provoca quemaduras. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Primeros auxilios

- Tras inhalación: aire fresco. Avisar al médico.

- Tras contacto con la piel: enjuagar con abundante agua. Extraer la sustancia por medio de algodón impregnado con polietilenglicol 400. Despojarse inmediatamente de la ropa contaminada. ^[38]
- Tras contacto con los ojos: Aclarar con abundante agua, manteniendo los párpados abiertos (al menos durante 10 minutos). Avisar inmediatamente al oftalmólogo ^[38].
- Tras ingestión: Beber abundante agua (hasta varios litros), evitar vómitos (riesgo de perforación). Avisar inmediatamente al médico. No efectuar medidas de neutralización ^[38].
- Medidas de lucha contra incendios ^[38]
- Medios de extinción adecuados: Adaptar a los materiales en el contorno.
- Riesgos especiales: Incombustible. Posibilidad de formación de vapores peligrosos por incendio en el entorno. En caso de incendio puede producirse: cloruro de hidrógeno ^[38].
- Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios: Permanencia en el área de riesgo sólo con sistemas de respiración artificial e independiente del ambiente. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada ^[38].
- Referencias adicionales: Precipitar los vapores emergentes con agua. Evitar la penetración del agua de extinción en acuíferos superficiales o subterráneos^[38].

Medidas a tomar en caso de vertido accidental

Medidas de precaución relativas a las personas: Evitar la inhalación de polvo. Evitar el contacto con la sustancia. Proceder a ventilación en lugares cerrados.

Medidas de protección del medio ambiente: No lanzar por el sumidero ^[38].

Procedimientos de recogida/limpieza: Recoger en seco y proceder a la eliminación de residuos.

Evitar la formación de polvo.

Manipulación y almacenamiento ^[38]

Manipulación: Sin otras exigencias.

Almacenamiento ^[38]

Bien cerrado. Seco. Temperatura de almacenamiento: sin limitaciones

Estabilidad y reactividad ^[38]

Condiciones a evitar: Calentamiento fuerte.

Materias a evitar: Sodio, oxidantes fuertes

Información complementaria: Incompatible con metales diversos

1.6.4 MANEJOS ALMACENAMIENTO Y PRECAUCIONES CLORURO DE AMONIO

Precauciones especiales

El cloruro de amonio se contraindica en personas con cirrosis y otras enfermedades hepáticas en virtud de que se puede almacenar y causar intoxicación por el amoníaco. El cloruro de amonio nunca debe usarse como único tratamiento de la alcalosis metabólica en pacientes con disfunción renal grave. Los médicos deben juzgar el uso del cloruro de amonio en pacientes con edema cardíaco o insuficiencia pulmonar debido a que puede existir un trastorno ácido básico intenso. El uso de espironolactona o inhibidores de la anhidrasa carbónica como la acetazolamida puede precipitar una acidosis sistémica ^[39].

Reacciones adversas conocidas

Los efectos secundarios van desde cefalea, confusión, letargo, hiperventilación, bradicardia, irritación gástrica, vómitos, sed, diarrea, anorexia, glucosuria, hipocalcemia, tetania, hiponatremia ^[39].

Peligros químicos

La sustancia se descompone al calentarla intensamente o al arder, produciendo humos tóxicos e irritantes de óxidos de nitrógeno, amoníaco y cloruro de hidrógeno. La disolución en agua es un ácido débil. Reacciona violentamente con nitrato amónico y clorato potásico, originando peligro de incendio y explosión. Reacciona con concentrados de ácidos para formar cloruro de hidrógeno y bases fuertes para formar amoníaco. Reacciona con sales de plata para formar compuestos sensibles al choque. Ataca al cobre y compuestos ^[39].

El almacenamiento se debe de realizar en forma separada de nitrato amónico, clorato potásico, ácidos, álcalis y sales de plata. Se recomienda mantenerlo en un lugar seco. En la Tabla 1.7 se presenta la solubilidad de este con el agua en función de la temperatura ^[39].

Tabla 1.7. Solubilidad en agua del cloruro de amonio.

Temperatura, °C	Gramos de NH ₄ Cl / 100 g de agua	% en peso de NH ₄ Cl
0	29.4	22.70
10	33.3	24.98
20	37.2	27.11
30	41.4	29.28
40	45.8	31.41
50	50.4	33.51
60	55.2	35.57
70	60.2	37.58
80	65.6	39.61
90	71.3	41.62

1.7 ESTUDIO DE COSTOS

Dado que esta planta de galvanizado será en régimen discontinuo y que se planea ocupar con fines didácticos y no de producción en masa o mediana escala se puede obviar el estudio de equipos especializados de transporte de piezas y automatización para el proceso de galvanizado, y la Escuela de Ingeniería Mecánica podría facilitar el almacenamiento de los diversos químicos. Se pueden obviar los costos de almacenamiento en que se puede incurrir desde el punto de vista de adquirir o realizar un almacenamiento nuevo sino más bien adaptar los que ya se tienen para operar de manera más eficiente y segura en el almacenamiento de los productos químicos a utilizar en el proceso.

1.7.1 CONSIDERACIONES PARA EL ESTUDIO

Con respecto al mantenimiento esto se reduce a reemplazar materiales viejos por nuevos ya que no se cuenta con equipos sofisticados que mantener. El horno que se va a ocupar requiere de un mantenimiento periódico que no está contemplado como parte de este trabajo de graduación y que por ende pertenece a otros trabajos de horas sociales de los cuales se tendrá el apoyo y que tiene la ventaja de obviar estos costes de mantenimiento. Para las operaciones de secado se va a utilizar un horno secador cuyo mantenimiento se puede considerar mínimo ya que reduce prácticamente a operaciones de limpieza que pueden ser realizados por los estudiantes que utilicen el laboratorio sin que esto incurra en gastos extra para la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Además, se tiene que mencionar que los dispositivos de almacenamiento como recipientes o botellas para manejo etc., son proporcionados por los mismos proveedores con lo que este es otro estudio que puede fácilmente obviarse al igual que estudios como distribución, canalización etc., que comúnmente se realizan en los estudios de mercado para la determinación de costos.

Dicho lo anterior se enfocará este estudio de costos en la adquisición de los químicos a utilizar, equipo de seguridad, y depósitos para las operaciones de lavado, decapado, equipo de secado y galvanizado como la base fundamental de este estudio.

Este estudio de costos comprenderá la cotización en varias empresas distribuidoras tanto a nivel nacional como en el exterior, así como de diversos equipos para la manipulación de los químicos como lo son bandejas plásticas o

cerámicas donde se han de realizar los baños, equipos de protección, almacenamiento entre otros.

En el **anexo 4** se presenta una carta de una empresa que respondió a una cotización donde se presentan las restricciones que esta empresa solicita para poder vender el producto que se está tratando de comprar.

1.7.2 DETALLE ESTUDIO DE COSTOS

El estudio de costos comprendió la cotización de los siguientes productos:

- Químicos a utilizar y materia prima (zinc),
- Materiales para limpieza (paños, toallas, esponja absorbente, etc.)
- Equipo de protección, (guantes de cuero o látex, gafas, mascarillas, etc.)
- Bandejas para la realización del decapado y fluxado
- Materiales para la fabricación del crisol para el galvanizado
- Herramientas para la manipulación de las piezas tanto en decapado como en el zincado
- Solventes para tareas de desengrasado de las piezas a galvanizar entre otros.

A manera de resumen práctico se puede un estudio de costos en las siguientes Tablas 1.8 y 1.9 siguientes.

Tabla 1.8. Empresas que proveen los químicos a utilizar para el decapado y fluxado.

Laboratorio	Correo electrónico	Dirección	Teléfono
ELECE, S.A. de C.V.	elecesadecv@live.com	18 Calle Poniente No. 910 Barrio Santa Anita. San Salvador. El Salvador.	22810383
NEOSYS S.A. DE C.V.	info@neosysv.com		2260 4451
Coresa de C.V.El Salvador	renemerlos@coresadecv.com reneamerlos@gmail.com	Residencial San Luis, Av. Lincoln, Block 4, No. 10, San Salvador.	25350705 25350755
PROMED	jgarcia@promed-sa.com	Pasaje los pinos N° 241 colonia escalón entre 77 y 79 Av. norte	22009711 22009702 71405494
Analitica sv	irene.cea@analiticasal.com	Final Ave. Washington #104 Col. Libertad	22369400 22369430

Tabla 1.9. Empresas donde se pueden adquirir los productos necesarios para el proceso de galvanizado con su respectivo precio unitario.

Producto	Precio, \$	Lugar
30 kg. de zinc puro	50.00-75.00	Corinca
Tenazas de plástico para manipulación de piezas y elementos químicos y accesorios	7.00	Venta de artículos plásticos
Guantes protectores	3.00	Freund ferretería
Pliego de tabla roca blanca para la fabricación de pantallas divisoras entre las diferentes etapas del proceso	27.00	Varias Ventas de artículos para construcción
Materiales para las estructuras de las pantallas divisoras ángulo de 1½ pulg x 6 m de largo + varilla cuadrada de ½ pulg + pintura + electrodos de soldadura entre otros equipos de seguridad	50.00	Freund ferretería
Recipientes 22x12x4 cm.	8.75	Tienda morena
Materiales para la fabricación del crisol para la fundición del zinc. Chapa de acero de 50x50 cm + ladrillo cerámico + cemento para pegar ladrillo pegamix	50.00	Varios lugares donde Venden artículos para construcción
Depósitos para los procesos de decapado, fluxado, secado, pre y post inmersión en caliente + herramientas para manipulación en caliente	25.00	Tiendas de artículos cerámicos y artículos para la construcción.

1.8 DETERMINACIÓN DE COSTOS

En la etapa de estudio de costos se define todo lo que es necesario para llevar a cabo la implementación de la planta de galvanizado, lo cual se cotizó en varias empresas. Los requerimientos necesarios para poder efectuar algunas compras como lo son los permisos otorgados por el ministerio de defensa para la compra de químicos a utilizar como el ácido sulfúrico. Además de todos los otros implementos que se van a utilizar y también todos los precios y resultados de las cotizaciones realizadas se resumen en la Tabla 1.10 siguiente.

Tabla 1.10. Detalle del presupuesto de los gastos requeridos para la ejecución de este trabajo de graduación.

Cant.	Unidades	Descripción	P/U, \$	P/T, \$
1	l	Ácido clorhídrico de 35% pureza	7.00	7.00
1	l	Ácido sulfúrico de 99% pureza	7.50	7.50
1	kg	Cloruro de amonio	2.25	2.25
1	kg	Cloruro de zinc	7.50	7.50
30	kg	Zinc puro	75.00	75.00
4		Tenazas plásticas	5.00	20.00
2	Pares	Guantes protectores	1.55	3.10
2	Equipos	Mascarillas protectoras para químicos	10.00	20.00
1		Pliego de tabla roca blanca	27.00	27.00
2		Recipientes 22x12x14 cm	2.40	4.80
1		Crisol para fundición (pruebas)	50.00	50.00
1	6m	Ángulo de 1 ½"	6.75	6.75
1	6m	Varilla cuadrada de ½"	1.85	1.85
2	Embases	Pintura en aerosol	2.60	5.20
1/2	Galón	Pintura anticorrosiva	3.50	3.50
1	50x50 cm	Chapa de acero	15.00	15.00
1	Caja	Ladrillo cerámico	8.00	8.00
1	Bolsa	Cemento para cerámicos	2.50	2.50
1	Varilla redonda + alambre	Accesorio para sujetar las piezas para la inmersión en caliente	1.25	1.25
2		Depósitos para colocar las piezas antes y después de la inmersión	5.00	10.00
2		Cocinas para el calentamiento de los ácidos de decapado y fluxado	10.00	20.00
2	lb	Electrodos para soldadura	3.00	6.00
2	Equipos	Recipientes para lavado de piezas	5.00	10.00
1	Equipo	Secador para piezas	15.00	15.00
1	Instrumento	Termómetro escala 0-100 °C	20.00	20.00
2	Unidades	Detergente y desinfectante	3.00	6.00
		Trabajos de instalación y funcionamiento	50.00	50.00
			Precio total, \$	405.20

2. DEFINICIÓN Y ESPECIFICACIÓN DEL PROCESO DE GALVANIZADO

A continuación se describirá un método para realizar el proceso de galvanizado, si bien este proceso varía en función de la demanda o cantidad de piezas a galvanizar, este sistema de galvanizado está pensado para usos didácticos y no como una línea de producción. A continuación se describe el proceso de galvanizado que se planea llevar a cabo.

2.1. PROPUESTA DE DISEÑO DE GALVANIZADO

Limpieza mecánica: Las piezas deberán estar previamente lavadas con agua y libres de objetos como limaduras, tierra, pintura o cualquier elemento que pueda interferir en el proceso de galvanizado. No obstante, en el 99% de los casos se considerará que esto no será necesario ya que a las piezas no se les habría realizado algún tipo de proceso de fabricación antes de prepararlos para el galvanizado.

Desengrasado: Se puede realizar con diferentes tipos de solventes que se pueden encontrar en el mercado, de los cuales el único requisito que deberá tener dicho solvente es que sea soluble en agua. Así, en el decapado con ácidos los requerimientos y especificaciones del ácido sulfúrico y clorhídrico se presentan en las Tablas 2.1 y 2.2 ^[41], donde se presentan las condiciones de solubilidad del óxido ferroso en los tipos de ácidos que se emplean en el proceso de decapado.

Fluxado con sales: Con los requerimientos y especificaciones que se describirán más adelante en la descripción completa del proceso. Así, en la

inmersión en baño de zinc los requerimientos y especificaciones que se describirán más adelante en la descripción completa del proceso.

Enfriamiento del recubrimiento: Con los requerimientos y especificaciones que se describirán más adelante en la descripción completa del proceso.

DESCRIPCIÓN COMPLETA DEL PROCESO DE GALVANIZADO

Aquí se describirá detalladamente el proceso de galvanizado ^[41-48]. Así, en las Tablas 2.1 ^[41] y 2.2 ^[41] se utilizan para seleccionar los tiempos de inmersión para las piezas a galvanizar en función de la temperatura ambiente y las concentraciones de los ácidos sulfúrico y clorhídrico.

Tabla 2.1. Solubilidad del hierro y sus óxidos en el ácido sulfúrico y clorhídrico ^[41].

Temperatura, °C	Concentración del ácido, %		Disuelto de una muestra de 100 gramos en una hora		
			Fe, g	Fe ₂ O ₃ , g	FeO, g
20	H ₂ SO ₄	1	6.0	3.9	0.14
20		5	15.0	4.8	0.56
20		10	35.0	6.4	0.98
30		10	97.7	9.0	1.40
20	HCl	1	20.8	0.112	0.48
20		3	31.6	0.36	0.76
20		5	40.7	0.71	0.83
30		10	72.0	10.6	7.5

Tabla 2.2. Efecto de la temperatura sobre el tiempo de decapado, en minutos ^[41].

Ácido Sulfúrico, %	18 °C	40 °C	60 °C
5	55	15	5
10	13	6	2
Ácido Clorhídrico, %	18 °C	40 °C	60 °C
5	135	45	13
10	120	32	6

Características del ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico comercial consiste en una solución acuosa desde 30 a 35 % de ácido clorhídrico gaseoso. La volatilidad del ácido a 40 °C, hace impracticable su empleo a elevadas temperaturas. La velocidad de volatilización

del ácido es realmente rápida. En la práctica actual, la velocidad de decapado se incrementa más con elevadas concentraciones de ácido que con una elevación de la temperatura.

En este aspecto el ácido clorhídrico se diferencia del ácido sulfúrico; con este último, las concentraciones tienen poca influencia, y el principal método para incrementar las velocidades de decapado consiste en una elevación de la temperatura. La escasa volatilidad del ácido sulfúrico y su bajo precio hacen que sea el ácido más generalmente empleado, para el decapado. A veces se practica la adición de ácido clorhídrico al ácido sulfúrico. Con tales adiciones se acelera el decapado, y la mayor solubilidad del cloruro ferroso hace posible usar la solución mucho más tiempo, se pretende que todo el decapado se lleva a cabo por el ácido sulfúrico; el ácido clorhídrico sirve solamente para regenerar el ácido sulfúrico de acuerdo con la siguiente reacción: $\text{SO}_4\text{Fe} + 2\text{HCl} \leftrightarrow \text{SO}_4\text{H}_2 + \text{Cl}_2\text{Fe}$, siendo desplazado el equilibrio hacia la derecha. Cuando se alcanza una concentración de 350 gramos de sulfato ferroso por litro, se hace cristalizar por enfriamiento y se separan los cristales por centrifugación, recuperándose el óxido férrico y el ácido sulfúrico por tostación de la sal seca.

Características del ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico comercial tiene una máxima concentración del 95 al 99%; su acción sobre el hierro y el acero es pequeña. Empezando con una baja concentración de ácido, se observa que al aumentar la misma, disminuye el tiempo de decapado, hasta que alcanza un máximo cuando la concentración está próxima al 25%; después, la velocidad del decapado disminuye rápidamente. Por otra parte, el efecto de la temperatura es muy marcado. Así en algunas pruebas sobre el decapado del acero oxidado indicadas en las

Tablas 2.1 ^[41] y 2.2 ^[41] se encontró que aumentando la temperatura del ácido sulfúrico al 5% de 18 a 60 °C, disminuía el tiempo de decapado casi a la décima parte. Por esta razón, el decapado con ácido sulfúrico deberá llevarse a cabo con ácido caliente; así podrá lograrse un mayor rendimiento.

La velocidad del decapado disminuye a medida que aumenta en la solución el contenido en sulfato ferroso. El efecto retardador de las sales ferrosas es menor a elevadas temperaturas que a bajas temperaturas, tanto en el caso del ácido sulfúrico como en del ácido clorhídrico y es debido a la mayor solubilidad de las sales a alta temperatura. Con bajas concentraciones de ácido sulfúrico el efecto es menos marcado que con las elevadas. Las sales férricas aceleran la velocidad de decapado, pero ello solo tiene interés científico, puesto que es despreciable el contenido de hierro trivalente en las soluciones de decapado. Aunque en el caso del ácido clorhídrico la presencia del hierro puede acelerar la velocidad de decapado dentro de ciertos límites de temperatura y concentración del ácido, una concentración excesiva de sales de hierro en toda clase de soluciones ácidas reduce muy considerablemente la velocidad del decapado. Se ha fijado en 80 g/l la máxima cantidad de hierro que se puede tolerar en los baños de decapado con ácido sulfúrico, mientras que con los baños de ácido clorhídrico se da un máximo práctico de 120 g/l.

DESENGRASANTE

Los ácidos de decapado no eliminan fácilmente la grasa, y la presencia de una película de aceite delgada y uniforme, en cualquier parte de la superficie del metal reducirá la velocidad de decapado sobre el área en cuestión de una manera notable. Para las chapas laminadas, cuando el tratamiento de decapado se efectúa inmediatamente después del tratamiento térmico, no es

necesaria, en general, un desengrase preliminar, pero en trabajos de ingeniería, en que es muy probable que se encuentre grasa en la superficie metálica, es esencial desengrasar el metal antes del decapado. Esto puede efectuarse satisfactoriamente con el auxilio de desengrasantes alcalinos calientes como la soda caustica, con o sin aplicación de corriente eléctrica.

PREPARACIÓN DEL BAÑO

Los baños de ácido sulfúrico se preparan con ácido concentrado con una densidad de 1.84 g/cm^3 a $66 \text{ }^\circ\text{C}$ y un contenido de ácido sulfúrico de 95 a 97%. Es preferible emplear un ácido de buena calidad, puesto que la presencia de impurezas, tales como el arsénico, en cualquier cantidad, reducirá notoriamente la velocidad del decapado. El ácido clorhídrico se consigue en forma de una solución del 30 al 35%; a partir de la misma, puede obtenerse una solución de ~10%, añadiendo una parte de ácido a dos partes, en volumen de agua. El contenido de las soluciones de decapado varía corrientemente entre un 5 y 10 % de ácido, y una vez decidido sobre la concentración conveniente, deben efectuarse diariamente adiciones de ácido al baño para mantener la fuerza del mismo.

AGITACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Es conveniente disponer de alguna forma de agitación del baño de decapado, puesto que ella ayuda a eliminar el hidrógeno de la superficie del metal y favorece que nuevas cantidades de ácido alcancen constantemente dicha superficie. Puede obtenerse la agitación en las soluciones calientes mediante inyección de vapor; cuando se usan serpentines, puede obtenerse cierto movimiento de la solución mediante las corrientes de convección. Las

soluciones frías de ácido clorhídrico son propensas a estratificarse, a menos que se recurra a alguna forma de agitación ésta es recomendable, incluso tratándose de soluciones calientes. Una de las razones del mejor comportamiento práctico de las soluciones de ácido sulfúrico caliente, comparadas con las del ácido clorhídrico a baja temperatura, se relaciona probablemente con el mejor grado de circulación del ácido como resultado del calentamiento. El movimiento de la solución puede obtenerse por un método mecánico apropiado, balanceando los costos de decapado en una dirección vertical, mediante el empleo de roscas o paletas movibles eléctricamente en la solución, o por aire comprimido, el primer método es el más corrientemente usado, pero muchas de las instalaciones pequeñas trabajan sin estos mecanismos. En los últimos años, en algunas instalaciones automáticas de decapado para objetos pequeños, se ha producido el empleo de barriles animados de un movimiento de traslación o de rotación, con lo que se consigue reducir considerablemente el tiempo de decapado.

LAVADO POST-DECAPADO

Es esencial un lavado cuidadoso después del decapado, pues cuando se retira el metal de la solución se adhieren al mismo considerables cantidades de sales de hierro conteniendo ácido interpuesto. Si se efectúa un lavado imperfecto, estas sales provocan la corrosión y contaminan los depósitos, son sustancias perjudiciales para los tratamientos siguientes (baños de galvanizado, fosfatado, etc.). Las sales residuales pueden acumularse también en los poros del metal y exudar después, perjudicando a cualquier recubrimiento que se aplique posteriormente. El metal decapado deberá lavarse primero en una corriente de agua fría, preferentemente en chorros pulverizados

a alta presión. Luego, deberá lavarse en otro depósito de agua corriente; este segundo depósito se mantendrá prácticamente aislado de la llegada de residuos ácidos. El metal será después sumergido en agua muy caliente para disolver las sales residuales, permaneciendo en el depósito el tiempo suficiente para que adquiera la temperatura del agua. Esto tiene por efecto quitar de los poros del metal la mayor parte del ácido. El metal retendrá también suficiente calor para secarse espontáneamente cuando se le saque del baño, a menos que tenga una escasa sección.

Al secarlo del agua el acero decapado está expuesto a oxidarse muy fácilmente; generalmente se reduce esa tendencia adicionando cal al agua caliente del lavado final. Incluso se puede obtener una mayor protección temporal adicionando cerca de 1% de ácido fosfórico al agua, lo que da por resultado la formación de una delgada capa de fosfato sobre la superficie del acero.

FLUXADO

El fluxado, mordentado o tratamiento con sales (mezclas de cloruro de zinc y cloruro amónico), tiene por objeto eliminar cualquier traza restante de impurezas y producir una limpieza intensa de la superficie metálica. Estas sales actúan como los “flux” en soldadura, esto es, favorecen la mojabilidad de la superficie del acero por el zinc fundido. Estas sales se aplican normalmente por inmersión de las piezas en una solución acuosa de las mismas.

La solución acuosa de cloruro de cinc 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 en el crisol de galvanizado. Las piezas deben secarse y precalentarse antes de sumergirlas en el crisol de galvanizado.

Existen varios tipos de compuestos de cloruro de cinc 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 hierro soluble debe mantenerse por debajo de un 0.5%. Es factible mantener una baja concentración de hierro en el flux ajustando el pH a ~5 y filtrando la solución.

Con un adecuado control, las soluciones de fluxado pueden durar años. En las plantas donde no existe horno de secado o precalentamiento es conveniente operar el fluxado entre 55 y 75 °C, esto ayudará a un secado más rápido.

El fluxado, recubriendo el material a galvanizar, tiene por objeto, el activar la superficie del acero y facilitar así su reacción con el zinc (formando cloruro de zinc y cloruro de amonio en estado de fusión) durante su inmersión.

El fluxado es una disolución de cloruro de amonio y cloruro de zinc en una relación óptima de una molécula de cloruro de zinc por cada dos de cloruro

de amonio (llamada sal doble), en una concentración de ~500 g/l de dicha sal doble, y a una temperatura de ~60 °C.

Esta solución, se mantiene en un recipiente metálica, y en éste se sumergen las piezas, una vez decapadas, manteniéndolas el tiempo suficiente para que la sal quede depositada en todas las superficies, tanto interiores como exteriores.

Las principales funciones del fluxado son las siguientes:

- Limpiar la superficie de las piezas activándolas para que el acero reaccione mejor con el zinc fundido.
- Disminuir el riesgo de salpicaduras cuando se sumergen las piezas húmedas en el baño, ya que se calientan al pasar por la disolución de flux.
- Este precalentamiento ayuda a evitar su deformación, particularmente en las piezas de chapa.

En algunos casos, y para materiales que no han sido limpiados adecuadamente, es necesario espolvorear sobre ellos cloruro de amonio en polvo, cuando están saliendo del baño de galvanizado, para aumentar la acción de mordentado, y la consiguiente limpieza del material, de forma que se obtenga un galvanizado adecuado.

SECADO EN AIRE CALIENTE

Los productos mojados por la solución acuosa de las sales del flux, debe secarse antes de su introducción en el baño de zinc, lo que se realiza en un foso de secado con aire caliente a una temperatura de 60 °C el tiempo suficiente como para asegurar completa ausencia de humedad.

GALVANIZADO - BAÑO DE ZINC

La operación de galvanización propiamente dicha se realiza sumergiendo las piezas en un baño de zinc fundido, a temperatura comprendida entre 440 y 460 °C. La calidad mínima del zinc es especificada por la mayoría de las normas internacionales como la ASTM B-06. Durante la inmersión de los productos en el zinc fundido se produce la difusión del zinc en la superficie del acero lo que da lugar a la formación de diferentes capas de aleaciones zinc - hierro de distintas composiciones. Cuando los productos se extraen del baño de galvanización, éstos quedan recubiertos de una capa externa del baño de zinc. El tiempo durante el que los productos deben estar sumergidos en el baño de zinc, para obtener un recubrimiento galvanizado correcto, depende, entre otros factores, de la composición del acero, de la temperatura del baño de zinc, y del espesor del acero de los productos. En cualquier caso, los productos deben estar sumergidos en el zinc hasta que alcancen la temperatura del baño.

La velocidad de inmersión será la más rápida posible, solo condicionada, por la violencia de las proyecciones de zinc en las piezas húmedas.

La velocidad de inmersión, también influye sobre la uniformidad del recubrimiento, particularmente, en los artículos largos, donde la duración de la inmersión entre la primera y la última parte que entra en el baño, puede ser considerable.

EXTRACCIÓN DEL MATERIAL

Antes de extraer la pieza del baño de zinc, deben desespumarse las cenizas de la superficie. Las cenizas que permanezcan sobre ésta, en la zona de extracción, pueden quedar ocluidas en el recubrimiento, modificando el

aspecto de la pieza. La velocidad de extracción, determina la capa de zinc sin alear sobre el material.

Se dispone de polipastos con 2 velocidades, que permiten sumergir rápidamente el artículo y extraerlo lentamente. La velocidad de extracción, deberá ser igual o menor a la de escurrido de zinc, considerándose óptima hasta un máximo de 1.50 m/min. Aunque esta velocidad puede variar dependiendo de la geometría de la piezas a galvanizar y la velocidad del escurrido del zinc fundido sobre la pieza.

ENFRIAMIENTO

Una vez fuera del baño de galvanización los productos pueden enfriarse en agua o dejarse enfriar al aire. A continuación pasan al área de acabado para eliminar rebabas, gotas punzantes y adherencias superficiales de cenizas o restos de sales y finalmente, se someten a inspección. Los recubrimientos galvanizados sobre artículos diversos deben cumplir una serie de requerimientos sobre aspecto superficial, adherencia y espesor que vienen especificados en las normas.

2.2 NORMAS UTILIZADAS PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO

Las normas utilizadas para este trabajo de graduación son las siguientes:
ASTM 153/153M: Especificación estándar para recubrimiento de zinc por inmersión en caliente sobre hierro y herrajes de acero.

ASTM B6: Especificación estándar del zinc.

ASTM A370-03A: Métodos de prueba mecánicas estándar para productos de acero.

ASTM E8-04: Métodos de pruebas estándar para tensión en materiales metálicos.

2.3 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

A continuación en la Fig. 2.1 un flujograma de cómo se realizará el proceso de galvanizado ^[47].

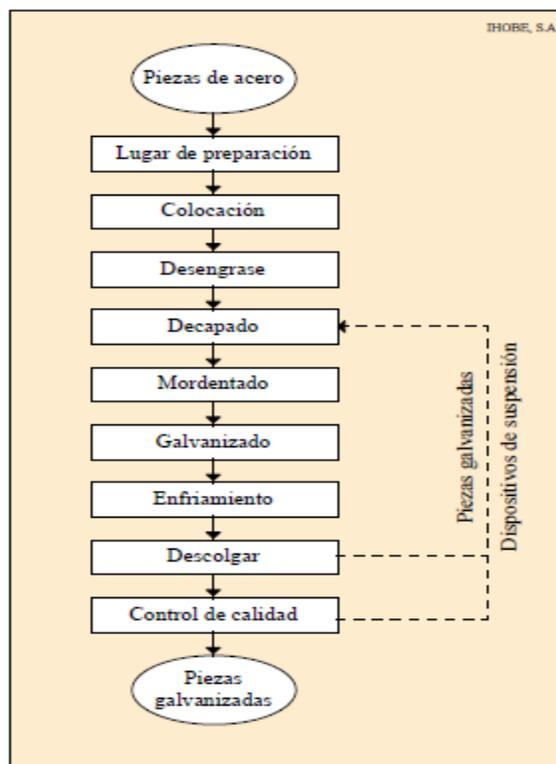


Fig. 2.1. Flujograma de diseño del proceso de galvanizado.

Aunque por tratarse de un proceso para fines didácticos la etapa de control de calidad en este momento puede tomarse en cuenta para la etapa de pruebas ya que esto consistirá en otras fases del trabajo de graduación dicha verificación de las piezas galvanizadas. Aquí se tiene que destacar que el proceso de mordentado es el mismo fluxado que se discutió en la propuesta de diseño de galvanizado, en la Fig. 2.2 se presenta un esquema de la distribución en planta que se tiene planeada para este proceso, destacando que el objetivo de esta figura no es dar un plano con todas las especificaciones de la planta, sino más bien una organización esquemática que pueda adaptarse a un espacio disponible en la escuela de ingeniería mecánica.

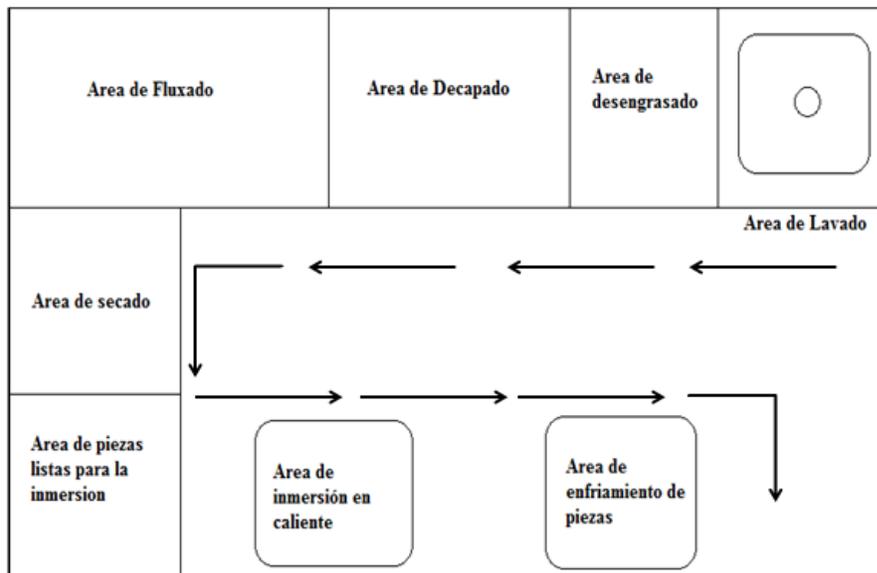


Fig. 2.2. Distribución en planta del proceso de galvanizado.

2.4 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA

En esta parte se definirán los criterios para determinar un tamaño máximo de las piezas que se podrán galvanizar, la cantidad de piezas a galvanizar al mismo tiempo, tamaño de los contenedores de los ácidos así como el crisol, y otros criterios que delimitan la capacidad instalada, como las cantidades de ácido a emplear y el tamaño del horno para la fundición del zinc etc.

2.4.1 TAMAÑOS Y MATERIALES DE LOS CONTENEDORES Y CRISOL

Para la determinación de la capacidad instalada se tomará como referencia la pieza que se presenta en la Fig. 2.3 cuyas dimensiones se utilizan como

referencia máxima, y serán la base para la determinación de la capacidad instalada.

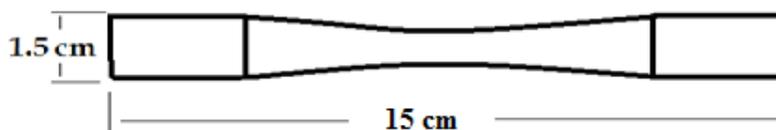


Fig. 2.3. Pieza o probeta de referencia para dimensionar los contenedores de los ácidos.

A partir de las dimensiones de esta pieza se obtiene el volumen de la probeta en bruto, se tiene:

$$V_p = \pi(0.75\text{cm})^2 \times 15\text{cm} = 26.51\text{cm}^3 = 0.02651\text{L} \quad (2.1)$$

Con unas dimensiones estimadas para el líquido en el contenedor, se tienen longitud de 18 cm, ancho de 15 cm y altura de 2 cm, queda:

$$V_l = 18 \times 15 \times 2 = 540\text{cm}^3 = 0.540\text{L} \quad (2.2)$$

Tomando un volumen desplazado de $V_d = 6V_p = 0.15906\text{L}$ que sería para colocar hasta 6 probetas en el recipiente

Se tendría un volumen total en recipiente de:

$$V_t = V_l + V_d = 0.540\text{L} + 0.15906\text{L} = 0.69906\text{L} \quad (2.3)$$

Dejando sin alterar la longitud ($L = 18\text{ cm}$) y ancho ($A = 15\text{ cm}$), queda una altura de:

$$h = \frac{699.06\text{cm}^3}{18 \times 15\text{cm}^2} = 2.589\text{cm} \quad (2.4)$$

Por razones de seguridad como salpicadura y comodidad se le dará una altura de 6 cm de altura para evitar derrames no deseados que pueden resultar peligrosos para el estudiante que realice el procedimiento por eso las

dimensiones estimadas para el recipiente sería de $L = 18 \text{ cm}$, $A = 15 \text{ cm}$ y $h = 6 \text{ cm}$ y con un volumen máximo de hasta un litro.

Relación Volumen efectivo

$$\frac{V_l}{V_r} = \frac{1000\text{cm}^3}{18 \times 15 \times 6\text{cm}^3} = 0.617284 \quad (2.5)$$

Con este valor se confirma que con el recipiente se puede trabajar cómodamente con el volumen de ácidos de un litro y que puede alojar hasta un extra de 61.73% de volumen. En la Fig. 2.4. Se observan las dimensiones del recipiente que cumple con los criterios de forma deseados.



Fig. 2.4. Dimensiones del contenedor de los ácidos diseñado según los criterios descritos anteriormente.

Material de los contenedores

Para asegurar máxima duración y resistencia al ataque químico por parte de estos ácidos se cuenta con 2 alternativas: 1) plásticos o 2) cerámicos. Ya que la mayoría de metales como el acero o el aluminio son atacados o reaccionan químicamente por los ácidos con los que se va a trabajar por tal

razón se descartan para la selección del material para los contenedores. Para la selección de los contenedores de los ácidos se tiene que considerar además que estos se someterán a cierta temperatura para acelerar aún más el proceso de decapado y fluxado, se sabe que los plásticos presentan baja resistencia a altas temperaturas además de que muchos de ellos son inflamables y representan un peligro potencial al trabajar a altas temperaturas, por eso el material idóneo para los contenedores son los cerámicos pero eso si su espesor no debe ser de menos de 0.635 cm ($\frac{1}{4}$ pulg.) para que algún contacto o golpe con las piezas metálicas que se estarían decapando o fluxando no termine quebrando el material en cuestión.

Diseño y dimensionamiento del crisol

La determinación del tamaño y forma geométrica del crisol está determinada fundamentalmente por el tamaño y forma del horno disponible para dicho trabajo de galvanizado ya que independientemente de cualquier otro factor si dicho crisol no se puede alojar en cámara del horno destinado para este propósito, este no sirve para el fin destinado, esto también a su vez limita el tamaño de las piezas que pueden galvanizarse en este sistema.

Además, se tiene que destacar que en la Escuela de Ingeniería Mecánica solo se cuenta con un horno de posición vertical como el horno esquemático que se presenta en la Fig. 2.5. Que sería el único que podría utilizarse para el galvanizado ya que en hornos de posición horizontal no es posible dado que su geometría no permite una inmersión en caliente óptima lo que a su vez puede repercutir en una mala calidad de las piezas a galvanizar y también representa un potencial riesgo tanto para el horno como para los posibles operarios del proceso de galvanizado.

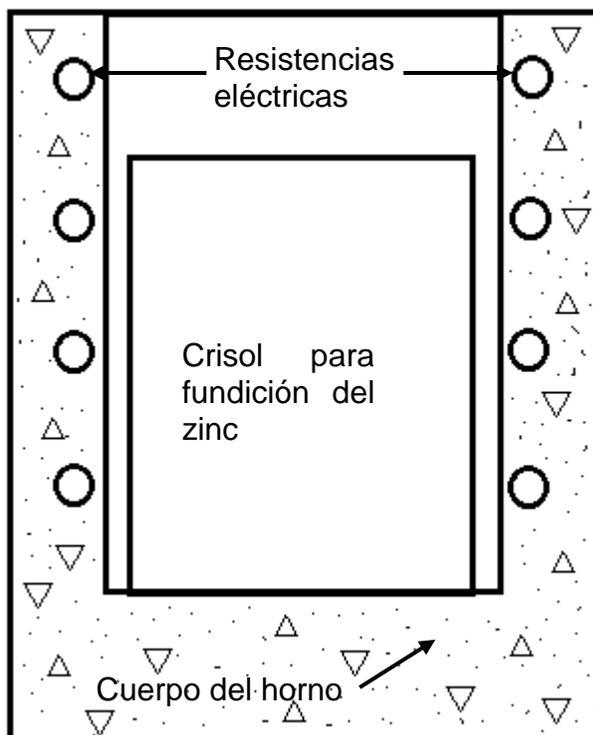


Fig. 2.5. Esquema de un horno de tipo vertical, ideal para el galvanizado.

Las dimensiones máximas que permite el horno vertical destinado para el proceso de galvanizado son de: 14 cm de largo, 12 cm de ancho y 12 cm de profundidad.

También, para el diseño del crisol se deben tener muy en cuenta diferentes factores como el material que se va a depositar que es el zinc puro y la temperatura que debe alcanzar y mantener que es de unos 460 °C y la presencia de esfuerzos tanto de origen térmico como mecánico.

Consideraciones para la selección de material del crisol

Primero el material a seleccionar debe tener una condición fundamental como ser pasivo frente al zinc a altas temperaturas ya que el zinc fundido es

extremadamente corrosivo para la mayoría de metales utilizados para la construcción de crisoles, como los aceros, además de que el zinc por norma debe mantener su alto grado de pureza para garantizar un galvanizado óptimo y el crisol donde esta fundido no debe contaminarlo.

Otro criterio fundamental es que dicho material debe ser capaz de soportar los esfuerzos térmicos y mecánicos a los que estará sometido ya que se va a sumergir una pieza que está a temperatura ambiente que rápidamente alcanzará la temperatura del baño que a su vez contrae y dilata térmicamente al zinc fundido, además del desplazamiento de zinc que tiene lugar cuando se realiza la inmersión en caliente, también se tienen esfuerzos de origen mecánico como el hecho de tener que soportar el peso del mismo zinc y las expansiones que se producen al solidificarse o fundirse el zinc luego de varias sesiones de trabajo que pueden dañar por fatiga las secciones o partes más débiles del material que por su forma geométrica puede estar expuesta, como tal es el caso de las uniones o aristas.

Alternativas

Los cerámicos: son muy buenos desde el punto de vista que son extremadamente inertes a altas temperaturas lo que ayudaría a mantener la pureza del zinc fundido, lo que garantiza un galvanizado de calidad y limpieza deseados y recomendado por las normas, pero en contra se tiene que los cerámicos en general poseen muy poca resistencia mecánica a esfuerzos de tensión, impactos y fatiga además de poca resistencia a esfuerzos de origen térmico.

Aceros o metales: Los aceros poseen gran resistencia a esfuerzos térmicos y mecánicos de cualquier índole pero tienen en contra que la gran mayoría de

aceros incluso algunos tipos de aceros inoxidable, son altamente corrosivos con el zinc fundido lo que contaminaría rápidamente a este, e influiría muy negativamente en la calidad del galvanizado. Además, de dañar tanto el baño de zinc como al crisol mismo en muy poco tiempo.

De la experimentación continua y la investigación teórica se concluye que lo mejor que se puede hacer en estos casos para obtener los mejores resultados, es combinar las propiedades y características pasivas de los cerámicos con la alta resistencia a esfuerzos mecánicos y térmicos del acero, y esto se obtiene de la siguiente manera:

La parte interior del crisol la que estará en contacto con el zinc fundido debe ser de material cerámico de preferencia cerámico refractaria, para garantizar la limpieza y pasividad del zinc fundido y la parte exterior del crisol debe ser de acero que resista a los esfuerzos mecánicos y térmicos a los que se va a someter dicho crisol con el tiempo, pero la parte cerámica debe estar pegada con la parte metálica con cemento refractario que cumple con los propósitos de mantener al zinc aislado de la parte metálica del crisol, de transmitir los esfuerzos mecánicos y térmicos del interior del crisol a la parte metálica del mismo por último mantener la temperatura de la fundición.

Con estos datos y especificaciones presentados, se construirá el crisol para el proceso de galvanizado tal como se muestra en la Fig. 2.6.

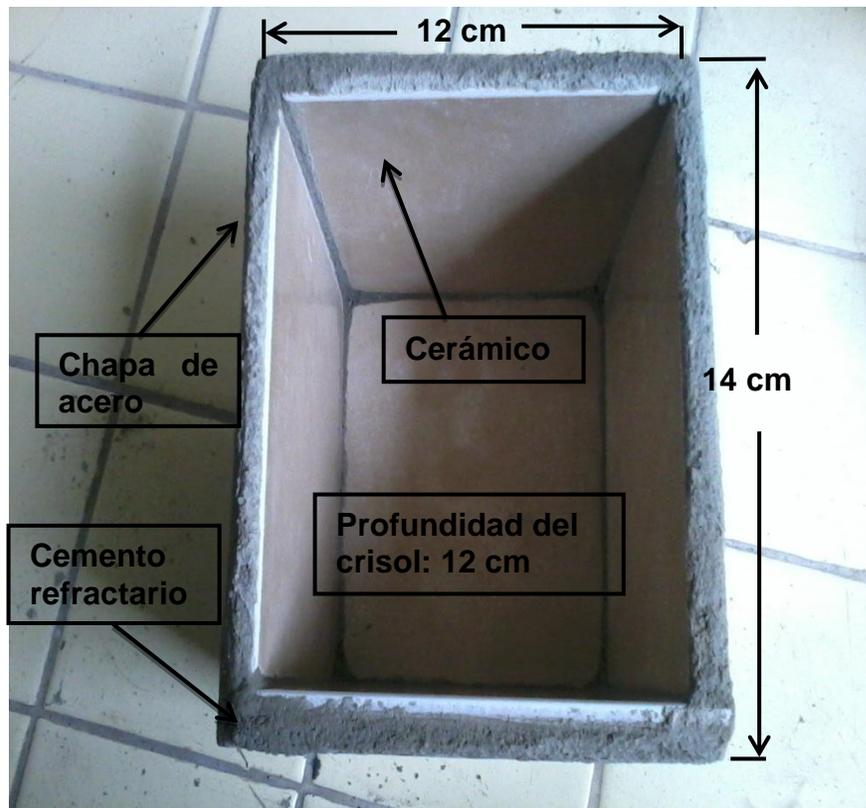


Fig. 2.6. Crisol para galvanizado que cumple con los criterios de selección de forma y materiales basado en pruebas experimentales y conceptos teóricos.

2.4.2 LIMITANTES

Luego de especificar la forma y tamaño de las piezas óptimas para galvanizar además de los respectivos contenedores, se delimitará la capacidad instalada tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Solo se contará con un máximo de un litro de soluciones ácidas para estos procesos de decapado tanto con ácido clorhídrico como con sulfúrico y cuya reutilización se considera indefinida por el momento.

- Los tamaños de los recipientes y crisol que se han especificado en el ítem anterior dan la pauta para determinar el tamaño del proceso y se ajustará a dicha capacidad que es la de máxima.
- Las dimensiones planeadas para el desarrollo del proceso que han sido asignadas es un área ~300 cm x 500 cm.
- En las prácticas de laboratorios en total de piezas a galvanizar se tiene un promedio de 4 por práctica (valor estimado).
- El tamaño del horno y crisol podría albergar como máximo una de las piezas previamente especificadas para inmersión a la vez no más.
- Las prácticas de laboratorio estarían planeadas para realizarse por lo menos en una mañana o tarde.
- El proceso de decapado y limpieza además del secado (especificados anteriormente) imponen un tiempo límite y tiene que estar acorde al tiempo estimado de duración de una práctica.
- El tamaño y dimensiones del horno donde se va a realizar la inmersión en caliente determina las dimensiones del crisol y en último caso determina el tamaño general de las piezas a galvanizar.

2.4.3 CAPACIDAD INSTALADA

Teniendo en cuenta las limitaciones del ítem anterior y dado que este proceso es con fines didácticos y no de producción en masa, la capacidad instalada inicial según el cumplimiento de todas las restricciones es:

- Hasta 12 probetas galvanizadas por día
- Un máximo de 6 probetas galvanizadas en paralelo

- 1 práctica o proceso podrá realizarse por sesión de trabajo
- Un máximo de hasta 2 sesiones por día

Nota: ya que todo lo anterior está basado en las piezas de la Fig. 2.3 las capacidades pueden variar si cambian los tamaños de las piezas pero para esto se ha sobredimensionado el equipo de alguna forma para poder adaptarse a cambios que puedan generarse así como dejar el equipo listo para una variedad de operaciones que podrían realizarse a futuro y que el equipo pueda adaptarse a las nuevas necesidades y/o especificaciones.

2.5 ESPECIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN

Debido a limitaciones tanto económicas como de espacio e infraestructura, no es posible garantizar las máximas y mejores condiciones de operación pero es posible realizar el proceso en las condiciones especificadas anteriormente a lo largo de este documento, por eso a continuación se presentará en la Tabla 2.3, a manera de resumen, sobre las condiciones de operación que sean aplicables a este proceso y que cumplan las especificaciones descritas en los ítem anteriores.

Tabla 2.3 Condiciones óptimas de operación en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Especificación	Condición
Temperatura de decapado (ácido clorhídrico)	25 °C
Temperatura de decapado (ácido sulfúrico)	60 °C (el contenedor del ácido)
Tiempo de decapado (ácido clorhídrico)	90 min máximo
Tiempo de decapado (ácido sulfúrico)	10 min máximo
Tiempo de fluxado	2 min máximo (depende de las piezas)
Temperatura del fluxado	60 °C
% Concentración ácido sulfúrico	10 máximo
% Concentración ácido clorhídrico	10 máximo
Relación cloruro amonio-cloruro zinc	2 máximo
Temperatura horno secado	60°C o mas
Tiempo en horno de secado	15 min para asegurar secado
Tiempo de baño de zinc	Máximo de 20 s
% de pureza del zinc mínimo	98%
Intervalo Temperatura del horno	440-460 °C
Tipo de enfriamiento	Aire o baño con agua
Condiciones del local	Muy ventilado libre de humedad y con extracción de gases de preferencia

2.6 DEFINICIÓN DEL PROCESO DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE A LAS PIEZAS QUE SE GALVANIZARÁN PARA LOS ENSAYOS DE FLEXIÓN.

Una guía para el galvanizado de piezas en general se encuentra en el **anexo 5**

Precauciones de seguridad

El local donde se realiza el proceso de galvanizado debe estar ventilado y las personas que realizan el proceso de galvanizado deberán estar todo el tiempo atendiendo las siguientes precauciones:

- Deberán usar una mascarilla antigases químicos

- Deberán usar guantes para la manipulación de productos químicos
- Deberán usar calzado cerrado y de cuero o material resistente.
- Deberán usar gafas protectoras.
- La puerta del laboratorio deberá estar cerrada mientras se realiza el proceso de galvanizado.
- Máximo cuatro personas dentro del laboratorio.
- No exponer los químicos o reactivos a fuentes de calor directa o combinarlos entre sí o con otros químicos ajenos a los que aquí se describen.
- En caso de contacto de algún químico con la piel lavar con abundante agua y en caso de ingesta accidental o contacto con los ojos llevar inmediatamente al centro de salud más cercano.
- Al momento de la práctica deberá señalizarse que se está realizando dicho trabajo y que está prohibido la permanencia en dicha zona sin el equipo adecuado
- Al terminar la práctica se guardaran todos los químicos en envases debidamente identificados con su tiempo de uso, cantidad y concentración, si esto es posible. Almacenar en un lugar fresco y seco alejado del sol o cualquier fuente de calor lejos de otros productos químicos.

En esta Práctica se realizarán diferentes pruebas modificando las siguientes variables y condiciones:

- 3 tiempos de decapado
- 3 tiempos de Galvanizado
- 3 piezas a probar para cada tiempo de decapado y cada tiempo de galvanizado.
- Cantidad total de piezas a galvanizar: 27.

Descripción del material a galvanizar:

Son piezas de acero común de bajo contenido de carbono, de forma cilíndrica de diámetro de unos 6 mm.

PASOS A REALIZAR

Paso 1

Primero se deberá asegurar que no existen en las piezas metálicas ningún tipo de impureza como tierra, pintura, grasas o aceites, entre otros. Con diferentes artículos de limpieza como jabones y detergentes solubles en agua, se deberán lavar todas las piezas metálicas para asegurar la ausencia tierra y otros elementos extraños que puedan estar en la superficie de metal, después se procederá al proceso de desengrasado de las piezas dicho proceso se llevara a cabo lavando estas piezas metálicas con solventes industriales tales como soda cáustica entre otros tipos de solventes que sean solubles en agua.

Paso 2

Luego de lavados todos los elementos metálicos se procede a su posterior secado con paños de tela u otro tipo de secado que no produzca ningún tipo de pelusa para evitar añadir impurezas en el próximo paso en el proceso de galvanizado.

Paso 3

Después del secado, se procede al proceso de decapado de las piezas metálicas, este proceso se realizará con ácido sulfúrico y las siguientes especificaciones:

- Concentración del ácido: 10% La forma de diluir el ácido se describe en el **anexo 6**

- Temperatura del ácido: constante de 60 °C

Para evaluar cómo influye el tiempo de decapado en la calidad del galvanizado se consideran 3 tiempos de inmersión del material sobre el ácido y estos tiempos son: 2, 4 y 6 min.

La concentración inicial del ácido es de ~99% para esto la proporción de ácido puro con respecto al agua debe ser de una a diez o que es lo mismo, por cada 10 ml de agua pura se debe añadir 1 ml de ácido sulfúrico puro.

Es bueno que cuando las piezas estén sumergidas en el ácido se agiten para acelerar el proceso de decapado.

Paso 4

Después de terminado el decapado se lavan las piezas con chorro de agua fría (temperatura ambiente) por lo menos 2 min para asegurar la ausencia de residuos en la pieza y para terminar de asegurar la limpieza se sumergen dichas piezas decapadas en agua caliente a unos 80 °C por lo menos otros 2 min.

Paso 5

Se secan nuevamente las piezas decapadas con un paño limpio que no deje ningún tipo de residuos en las piezas o con aire caliente.

Paso 6

Fluxado: se realiza en una solución acuosa en combinación de cloruro de zinc y cloruro de amonio, la proporción de cloruro de zinc con respecto al

cloruro de amonio es 1 g de cloruro de zinc por cada 2 g de cloruro de amonio y la concentración de la combinación de ambos debe ser de unos 500 g por un litro de dichas sales. Así,

Sea: X= cantidad en g de cloruro de amonio

Y= cantidad en g de cloruro de zinc

Se debe cumplirse que:

$$X + Y = 500 \quad (2.6)$$

$$Y = 2X \quad (2.7)$$

Entonces resolviendo (2.6) y (2.7) se tiene que:

$$X = 166.67 \text{ g}$$

$$Y = 333.33 \text{ g.}$$

Todo lo anterior debe estar disuelto en un litro de agua pura. Para una descripción completa del mezclado de estos elementos refiérase al **anexo 6**. Dicha mezcla debe estar a una temperatura de unos 60 °C con un tiempo máximo de un minuto para asegurar la adhesión de las sales a la superficie de las piezas a galvanizar.

Dependiendo de la calidad y limpieza del lavado y decapado anterior al fluxado, esta solución puede mantenerse útil durante años y no perder sus propiedades químicas deseadas para el proceso de galvanizado.

Paso 7

Secado en aire caliente: los productos mojados por la solución acuosa de las sales del flux, deben secarse antes de su introducción en el baño de zinc, lo que se realiza en un equipo de secado con aire caliente a una temperatura de 60 °C o más, el tiempo suficiente como para asegurar completa ausencia de humedad.

Paso 8

La operación de galvanización propiamente dicha se realiza sumergiendo las piezas en un baño de zinc fundido, a temperatura comprendida entre 440 y 460 °C, el tiempo en que debe mantenerse la pieza sumergida en el baño de zinc es el tiempo necesario para que la pieza a galvanizar alcance la temperatura del baño que puede variar dependiendo del tamaño y forma de la pieza a galvanizar.

Para verificar cómo influye el tiempo de inmersión en el baño de galvanizado en la calidad del recubrimiento se han determinado 3 tiempos de inmersión en el baño galvánico y estos son: 5, 10 y 15 s.

La velocidad de inmersión será la más rápida posible, solo condicionada, por la violencia de las proyecciones de zinc en las piezas húmedas

Paso 9

Extracción del material: Antes de extraer el material del baño de zinc, deben apartarse las cenizas de la superficie. Las cenizas que permanezcan sobre ésta, en la zona de extracción, pueden quedar entre el recubrimiento, modificando el aspecto del material recubierto. La velocidad de extracción, determina la capa de zinc sin alear sobre el material. La velocidad de

extracción, deberá ser igual o menor a la de escurrido de zinc, considerándose óptima hasta una velocidad máxima de aproximadamente de 1.50 metros/min. Variando según la velocidad del escurrido de zinc fundido sobre las piezas.

Paso 10

Una vez fuera del baño de galvanización los productos pueden enfriarse en agua o dejarse enfriar al aire.

Paso 11

Acabado: A continuación pasan a la fase de acabado para eliminar rebabas, gotas punzantes y adherencias superficiales de cenizas o restos de sales y finalmente, se someten a inspección. Los recubrimientos galvanizados sobre artículos diversos deben cumplir una serie de requerimientos sobre aspecto superficial, adherencia y espesor que vienen especificados en las normas.

Paso 12

Ensayo de flexión: A continuación se detallan los pasos del ensayo para comprobar si la adhesión de la capa de zinc al material es lo suficientemente fuerte, para eso se realizarán tres tipos de dobleces a la pieza galvanizada unos será a 45° a partir de la horizontal estando la pieza en dicha posición, luego se doblaran las piezas a un ángulo de 90° y se verificará si existen desprendimientos de la capa zinc en la pieza o no, y por último se realizará un dobles a 135° para verificar si existe o no desprendimiento de material, con el fin de realizar conclusiones acerca de los dobleces tomando en cuenta que a cada pieza se le realizaron diferentes tiempos de decapado e inmersión para

comprobar si existe relación entre los tiempos de decapado e inmersión en la calidad del recubrimiento.

Terminado todo el proceso de inspección se elaboran las conclusiones pertinentes para determinar la influencia de los diferentes tiempos de inmersión y decapado en la calidad de los recubrimientos.

Para una especificación de diseño general de cómo preparar adecuadamente y las instrucciones para el diseño de elementos y conjuntos que deban ser galvanizados en caliente en el **Anexo 7** se colocan todos los criterios de diseño que se han de tomar en cuenta para galvanizar cualquier pieza de manera eficaz y de gran calidad atendiendo los estándares de calidad.

3. CONSTRUCCIÓN EXPERIMENTACIÓN Y ENSAYOS

En esta etapa del trabajo de graduación se llevara a cabo la construcción experimentación y ensayos de los diseños y criterios planteados anteriormente. Se comenzará la etapa de construcción adecuando un local de la Escuela de Ingeniería Mecánica a las condiciones apropiadas para que el proceso de galvanizado pueda realizarse en dicho lugar de la manera más segura y eficaz posible.

3.1. AMBIENTACIÓN DEL LOCAL

Para la ambientación del local es necesario primero que el sitio donde se va a realizar el proceso de galvanizado sea lo mejor ventilado posible, libre de otros objetos ajenos al proceso que puedan interferir con el correcto desempeño del galvanizado, con ventanas para extracción y evacuación de gases, amplio, con acceso a agua limpia, bien iluminado, aislado de los demás locales, y donde principalmente estén aisladas entre si las diferentes etapas del proceso de galvanizado, para este propósito se construyeron pantallas separadoras cuya función principal es aislar las diferentes etapas del proceso para seguridad orden y limpieza en el sitio donde se realiza el galvanizado. En la Fig. 3.1 se presenta una de las pantallas separadoras que se construyó para los fines antes mencionados.



Fig. 3.1. Pantallas separadoras construidas para aislar entre si las diferentes etapas del proceso de galvanizado.

Después de varios días de intenso trabajo se logró ambientar un local de la Escuela de Ingeniería Mecánica con todas las especificaciones y condiciones arriba descritas, limpio, ventilado, aislado, con acceso a agua limpia, iluminado, libre de objetos que puedan interferir de una u otra forma al proceso de galvanizado.

Se llevó a cabo la distribución en planta que se había esquematizado en la Fig. 2.2 en la sección 2.3 tomando todos los criterios y especificaciones de diseño de las consideraciones teóricas que se habían planteado en el marco teórico.

Terminado todo lo referente a la fase de ambientación del local se procedió a la compra de adquisición de los productos equipos y herramientas a utilizar para el proceso de galvanizado.

3.2. ADQUISICIÓN Y PRUEBAS DE TODO LO NECESARIO PARA EL PROCESO

Después de terminada la ambientación del local se compró todo lo que se había presupuestado en la sección del estudio de costos, tomando en consideración todos los criterios que se estudiaron previamente en la etapa de diseño. Terminado la adquisición de los productos con las especificaciones dadas se procede a la instalación de los equipos en el lugar previamente ambientado para comenzar con la experimentación. Control de calidad de los productos comprados como los depósitos donde se van a colocar los ácidos reactivos para decapado y fluxado, la mezcla de dichos reactivos, verificación del correcto funcionamiento de equipos en los que se va a apoyar este trabajo de graduación como el horno de fundición para el zinc, verificación de los equipos de seguridad como mascarillas y guantes, equipos de manipulación como bandejas y pinzas de sujeción de piezas a galvanizar, sistema de calefacción de los reactivos (cocinas eléctricas). Se comprueba que todo funciona correctamente y cumplen con los requerimientos necesarios para garantizar la calidad en el proceso y seguridad del mismo.

Después de varias pruebas a los productos adquiridos y experimentación continua se han logrado realizar con éxito, facilidad y seguridad las etapas de decapado y fluxado de metales para ser galvanizados posteriormente. No obstante para eso se tiene que tener un crisol que cumpla con todas las especificaciones y requerimientos necesarios para un galvanizado correcto y de buena presentación.

3.3. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS AL CRISOL PARA GALVANIZADO

La construcción del sistema de galvanizado obedece a los criterios y especificaciones descritas en la sección 2.4.1. Así, en la Figs. 3.2 – 3.4 se presenta el proceso de construcción del crisol para el galvanizado.

En la Fig. 3.2 se presenta el corte de la lámina de acero que se va a usar para construir el exterior del crisol según el criterio que se definió en la sección 2.4.1.



Fig. 3.2. En proceso de corte de la lámina metálica que se utilizará para la construcción del crisol de fundición para el zinc en el proceso de galvanizado.

Después de cortada la lámina de acero que puede ser de cualquier espesor ya este es irrelevante desde el punto de vista de diseño solo debe cumplir que se pueda doblar con relativa facilidad, fácilmente soldable y que se acople correctamente en el horno destinado para el galvanizado.

En la Fig. 3.3 se presenta la colocación de la parte cerámica interna en el crisol tal como se especificó en la sección 2.4.1.



Fig. 3.3. Colocación de la cerámica interna al crisol para galvanizado en la lámina de acero que ya se encuentra soldada en los extremos, según el criterio de diseño que se especificó anteriormente.

Después de colocada la parte cerámica se le coloca el cemento necesario para unir las partes cerámica con la metálica según se especificó en el diseño mencionado anteriormente. En la Fig. 3.4 se presenta el crisol ya terminado esperando a que el cemento se seque para sus posteriores pruebas. Así, queda construido el crisol necesario para terminar el sistema de galvanizado.



Fig. 3.4. Construcción del crisol finalizada a la espera a que seque el cemento para la realización de pruebas y realizar el proceso de galvanizado

Pruebas del crisol.

Terminada la construcción del crisol se procede a la realización de las diferentes pruebas para comprobar su funcionamiento para las operaciones para las que fue construido en la Fig. 3.5 se presentan las diferentes pruebas realizadas en el horno, comprobando que el crisol construido se acopla correctamente al horno destinado para este propósito y también se le realizaron pruebas de calentamiento al crisol, para comprobar su resistencia a altas temperaturas, comprobando que resiste satisfactoriamente a la temperatura de trabajo a la que se va a someter en el proceso y por último se procede a fundir el zinc en el crisol y comprobar si existe contaminación del zinc por parte del crisol, comprobando satisfactoriamente que tampoco existe contaminación del mismo. Así, de esta manera el crisol construido ha cumplido satisfactoriamente todas las pruebas realizadas.



Fig. 3.5. Crisol construido en diferentes pruebas, ha cumplido satisfactoriamente las pruebas de forma (encaja correctamente en el horno) pruebas de temperatura y pasividad con el zinc (no hay contaminación) está listo para galvanizar.

3.4. REALIZACIÓN Y PRUEBAS A TODO EL PROCESO DE GALVANIZADO

Construido el sistema de galvanizado, se procede con la galvanización de las piezas de prueba para comprobar si este proceso funciona correctamente y cumple con los criterios necesarios para ser un recubrimiento que cumple con los requerimientos de buena adhesión. El proceso seguido se presenta en las Figs. 3.6 – 3.10, así en la Fig. 3.6 se presentan unas piezas en proceso de decapado y luego ya decapadas, se aprecia la reacción del ácido sulfúrico como limpiador químico de metales. En la Fig. 3.7 se presentan las

mismas piezas en proceso de fluxado y después en la Fig. 3.8 se presentan las piezas en proceso de secado pre-inmersión, este proceso es fundamental para evitar que residuos húmedos exploten al entrar en contacto con el zinc fundido y puedan causar daños a las personas que realizan la inmersión. En la Fig. 3.9 se presentan las piezas siendo sumergidas en el zinc fundido, la pieza está dentro de la fundición de zinc, una limpieza al zinc fundido antes y después de la extracción del material es necesaria para que las impurezas de la reacción del material con el zinc fundido no queden en el recubrimiento mismo. Por último, en la Fig. 3.10 se presentan las piezas ya galvanizadas comparadas con otras piezas sin galvanizar, las piezas galvanizadas están listas para posteriores pruebas para corroborar la calidad del recubrimiento.

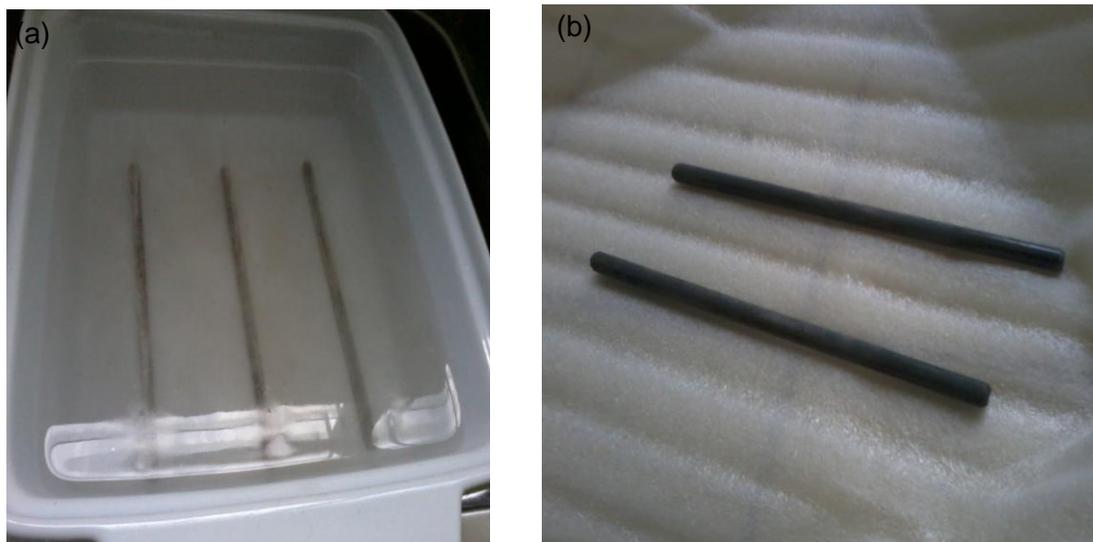


Fig. 3.6. (a) piezas metálicas de pruebas en proceso de decapado se aprecia la reacción del ácido sulfúrico como limpiador químico de metales y (b) piezas de pruebas ya decapadas.

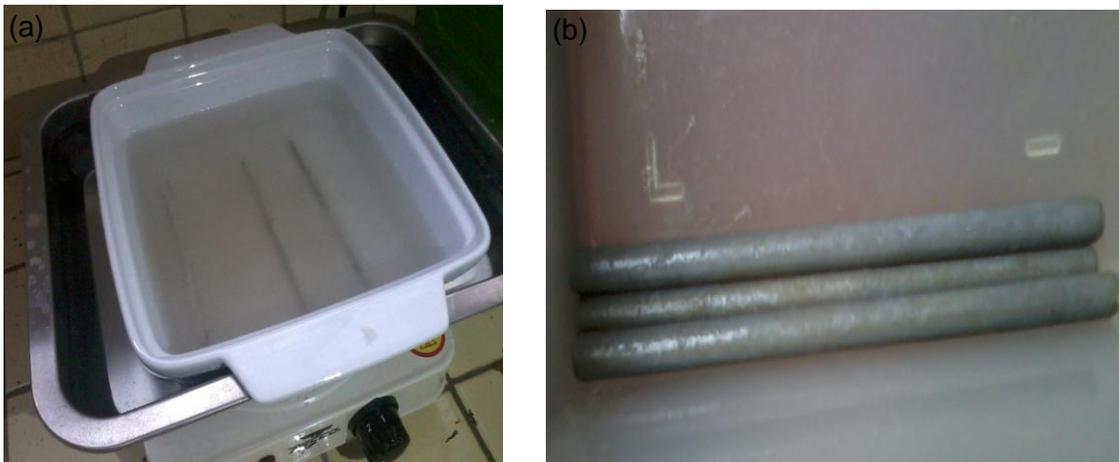


Fig. 3.7. (a) Piezas metálicas de pruebas en proceso de fluxado (b) piezas después del fluxado.

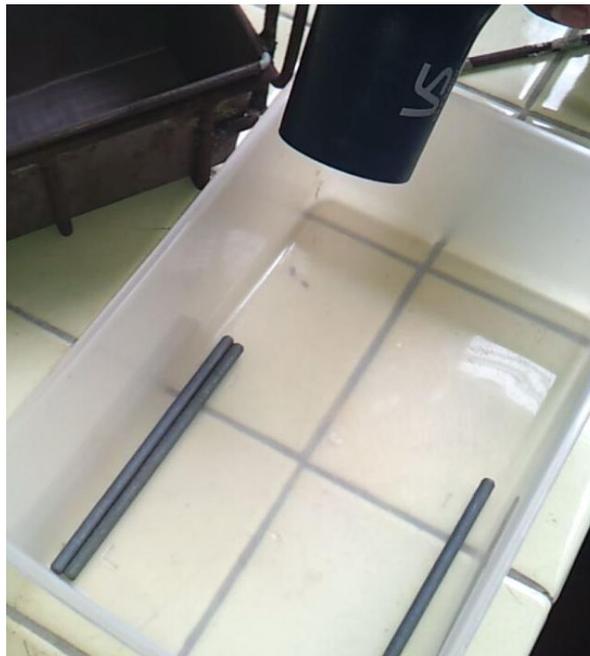


Fig. 3.8. Piezas en proceso de secado antes de ser galvanizadas por inmersión en caliente, este proceso es fundamental para evitar que residuos húmedos exploten al entrar en contacto con el zinc fundido y puedan causar daños a las personas que realizan la inmersión.



Fig. 3.9. Piezas en proceso de inmersión en caliente, la pieza está dentro de la fundición de zinc, una limpieza al zinc fundido antes y después de la extracción del material es necesaria para que las impurezas de la reacción del material con el zinc fundido no queden en el recubrimiento mismo.

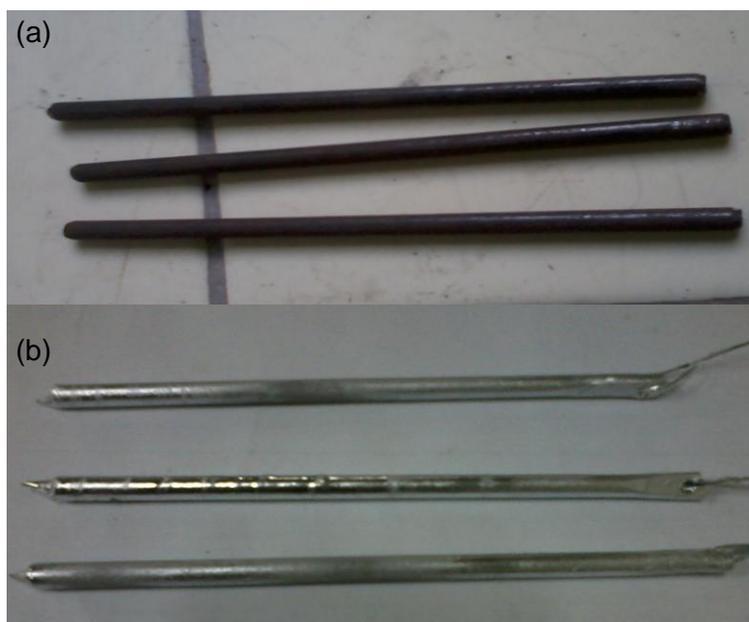


Fig. 3.10. (a) piezas ya galvanizadas listas para la realización de ensayos sobre la calidad de la adherencia del recubrimiento. (b) Piezas sin galvanizar se presente un antes y un después del proceso de galvanizado, la diferencia en el aspecto superficial es evidente.

Terminado el proceso de galvanizado pueden surgir varios inconvenientes que repercuten significativamente en la calidad y aspecto superficial del galvanizado, para aprender a identificar mejor el origen de los posibles inconvenientes y la forma de cómo combatirlos o evitarlos se presenta en el **anexo 8** una Guía de inspección de calidad donde se presentan los defectos más comunes en el proceso de galvanizado y las recomendaciones para corregir dicho problema o evitarlo con sus respectivas notas y causas probables de rechazo o aceptación de un lote de piezas galvanizadas.

3.5. ANÁLISIS Y PRUEBAS AL RECUBRIMIENTO DE GALVANIZADO

Después de realizado y probado satisfactoriamente el proceso de galvanizado se van a realizar unas pruebas para determinar la calidad de adhesión del recubrimiento, se pueden realizar numerosos y variados tipos de pruebas algunas ya normalizadas pero en este caso se realizaran a las probetas ya galvanizadas un ensayo de flexión de doblez hasta un ángulo de 135°, esto como parte de una de las pruebas contempladas en este trabajo de graduación y será la única prueba que se realizará a las probetas galvanizadas y que solo ésta será suficiente para determinar la calidad de adherencia del material pero se modificaran los tiempos de inmersión y decapado para comprobar si existe o no relación con la pérdida o cambios en las propiedades adhesivas del zinc en el acero, en el **anexo 9** se presenta la guía de procedimiento para realizar dichos ensayos. Habiéndose ya realizado en las probetas galvanizadas el ensayo correspondiente se procede a analizar los

resultados obtenidos en este laboratorio realizado que está basado en las pruebas ASTM A370-03 y ASTM E8-04. En la Fig. 3.11 se presenta una fotografía de una de las probetas en proceso de doblado como parte del ensayo realizado.



Fig. 3.11. Pieza galvanizada en proceso de ensayo de flexión, dobles hasta 135°

En la Tabla 3.1 se presentan los resultados de la inspección visual de calidad de adherencia del recubrimiento contemplada en el laboratorio del **anexo 9** con sus diferentes respuestas para luego presentar las conclusiones pertinentes.

Tabla 3.1. Resultados de la inspección visual después de los ensayos de flexión realizados a las piezas galvanizadas según la guía de laboratorio del **Anexo 9**.

Tiempos de decapado, min	Tiempos de inmersión, s		
	5	10	15
2	a) si() no(√)	a) si() no(√)	a) si() no(√)
	b) si() no(√)	b) si() no(√)	b) si() no(√)
	c) si() no(√)	c) si() no(√)	c) si() no(√)
4	a) si() no(√)	a) si() no(√)	a) si() no(√)
	b) si() no(√)	b) si() no(√)	b) si() no(√)
	c) si() no(√)	c) si() no(√)	c) si() no(√)
6	a) si(√) no()	a) si() no(√)	a) si() no(√)
	b) si() no(√)	b) si(√) no()	b) si() no(√)
	c) si() no(√)	c) si() no(√)	c) si() no(√)
Total: 27 probetas ensayadas			

NOTA: Si el cheque (√) se encuentra en casilla “no”, significa que no se observaron fisuras en la parte doblada de la probeta en cuestión, caso contrario significaría que si se observaron grietas o fisuras en el recubrimiento después del ensayo a flexión.

Graficando los datos obtenidos en la Tabla 3.1 realizando un gráfico de barras vertical, tal como se presenta en la Fig. 3.12.

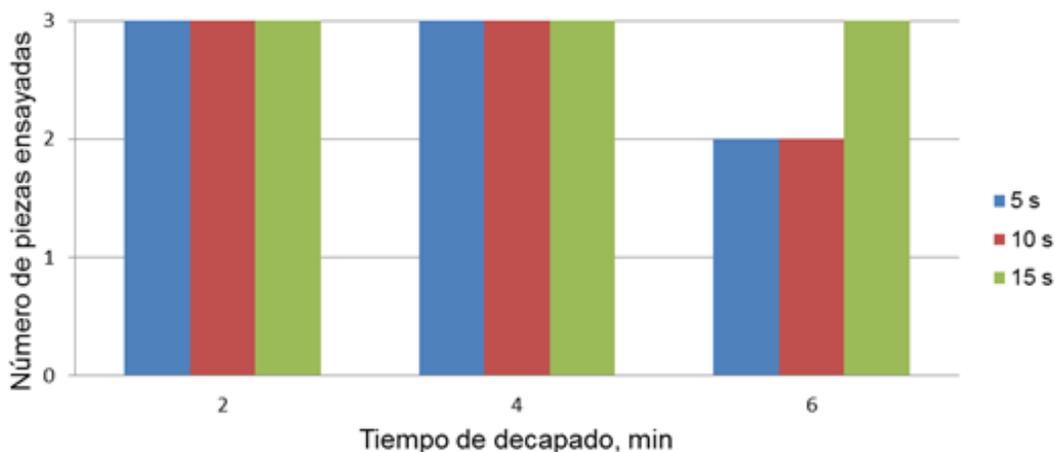


Fig. 3.12. Resultados de la Inspección visual en el área de doblé en las piezas ensayadas.

ANÁLISIS VISUAL DEL ENSAYO

El objetivo de los ensayos realizados es determinar si existen o no desprendimientos o desgarraduras de zinc en las probetas para los diferentes tiempos tanto de inmersión como de decapado, también se evaluarán como parte de la inspección visual el porcentaje de zonas oscuras u opacas que presentan las piezas galvanizadas, para evaluar cómo influyen los tiempos de inmersión y decapado en el aspecto superficial de las piezas. Para comprobar esto se tomaron fotografías a las probetas galvanizadas haciendo énfasis en las zonas donde se produjo la deformación en el metal, con el fin de verificar si existen dichos fallos o no.

Para no sobrecargar este trabajo con tantas imágenes repetitivas sobre las piezas ensayadas ya que fueron 27 las piezas que se ensayaron. En la Fig. 3.13 se presenta una imagen de una de las 25 probetas que no se observó ningún tipo de daño por la deformación. En la Fig. 3.14 y 3.15 se presentan las imágenes de las dos probetas que presentaron grietas o fallos en el recubrimiento de zinc, las cuales corresponden a 6 min de decapado con 5 y 10

s de inmersión, respectivamente. Esto último, indica que la adherencia del recubrimiento es menor que con otros tiempos de inmersión y decapado.



Fig. 3.13. Probeta representativa de todas las probetas que no presentaron fallos.



Fig. 3.14. La probeta con 6 min de decapado y 5 s de inmersión en el baño de zinc, presenta pequeñas grietas o desprendimientos producto del doblado.



Fig. 3.15. La probeta con 6 min de decapado y 10 s de inmersión en el baño de zinc, presenta agrietamientos del recubrimiento de zinc en zona donde se produjo el dobléz.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA OBSERVACIÓN DEL PORCENTAJE DE ZONAS OSCURAS EN LAS PROBETAS GALVANIZADAS.

Como parte del análisis visual de las probetas ensayadas se observó el porcentaje de zonas que presentan opacidad en dichas piezas, esto con el fin de evaluar si los tiempos de inmersión y decapado tienen algún efecto sobre el grado de opacidad observado en dichas piezas, esto como parte de la evaluación del aspecto superficial de las piezas galvanizadas.

El criterio de evaluación es el siguiente:

Se tiene la longitud total de la pieza que para fines de análisis se considera el 100% de la zona analizada de interés, luego de esto se mide la longitud de las zonas donde se observa opacidad u oscuridad en las piezas galvanizadas.

Se compara esta longitud con la longitud original de la pieza galvanizada y se expresa en forma de porcentaje con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ De Zonas oscuras} = \frac{\text{Longitud zonas oscuras}}{\text{Longitud total de la pieza}} \times 100\%$$

Para no encontrarse con problemas de precisión y cifras significativas se decidió trabajar únicamente con valores enteros de medición y rangos de medición que van en incrementos de 10 en 10 para que los datos obtenidos sean más representativos y muestren una tendencia más clara de la influencia de los tiempos de inmersión y decapado sobre la presencia de dichas zonas de opacidad.

En la Tabla 3.2 se presentan los porcentajes de zonas oscuras observadas según el tiempo de inmersión y decapado con que se galvanizaron las probetas ensayadas.

Tabla 3.2 Resultados de la inspección visual con respecto al porcentaje de zonas oscuras observadas en las piezas galvanizadas ensayadas.

Tiempos de decapado, min	Tiempos de inmersión, s		
	5	10	15
2	a) 0% b) 0% c) 0%	a) 40% b) 40% c) 40%	a) 60% b) 60% c) 60%
4	a) 40% b) 40% c) 40%	a) 60% b) 60% c) 60%	a) 60% b) 60% c) 60%
6	a) 40% b) 40% c) 40%	a) 60% b) 60% c) 60%	a) 80% b) 80% c) 80%
Total: 27 probetas observadas.			

Graficando los datos obtenidos en la Tabla 3.2 realizando un gráfico de barras vertical, tal como se presenta en la Fig. 3.16.

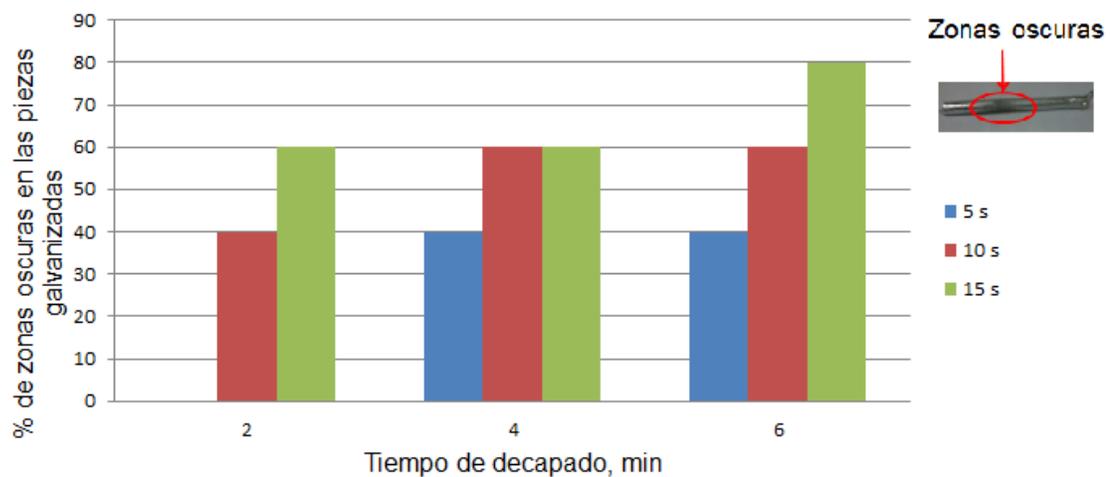


Fig. 3.16. Resultados de la inspección visual del % de zonas oscuras en base a los tiempos de inmersión y decapados.

ANÁLISIS VISUAL METALGRÁFICO Y MEDICIÓN DEL ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO DE LAS PIEZAS GALVANIZADAS.

Como etapa final del proceso de inspección visual se le realizaron a las probetas ensayadas una serie de fotomicrografías con el fin de apreciar la forma microscópica del recubrimiento en sí y de paso medir el espesor de este, con el fin de comprobar la calidad del recubrimiento.

En la Fig. 3.17 se presenta una fotografía de una muestra metalográfica realizada con un corte de 2 de las probetas galvanizadas todo con el fin de apreciar y medir el espesor del recubrimiento galvánico obtenido.

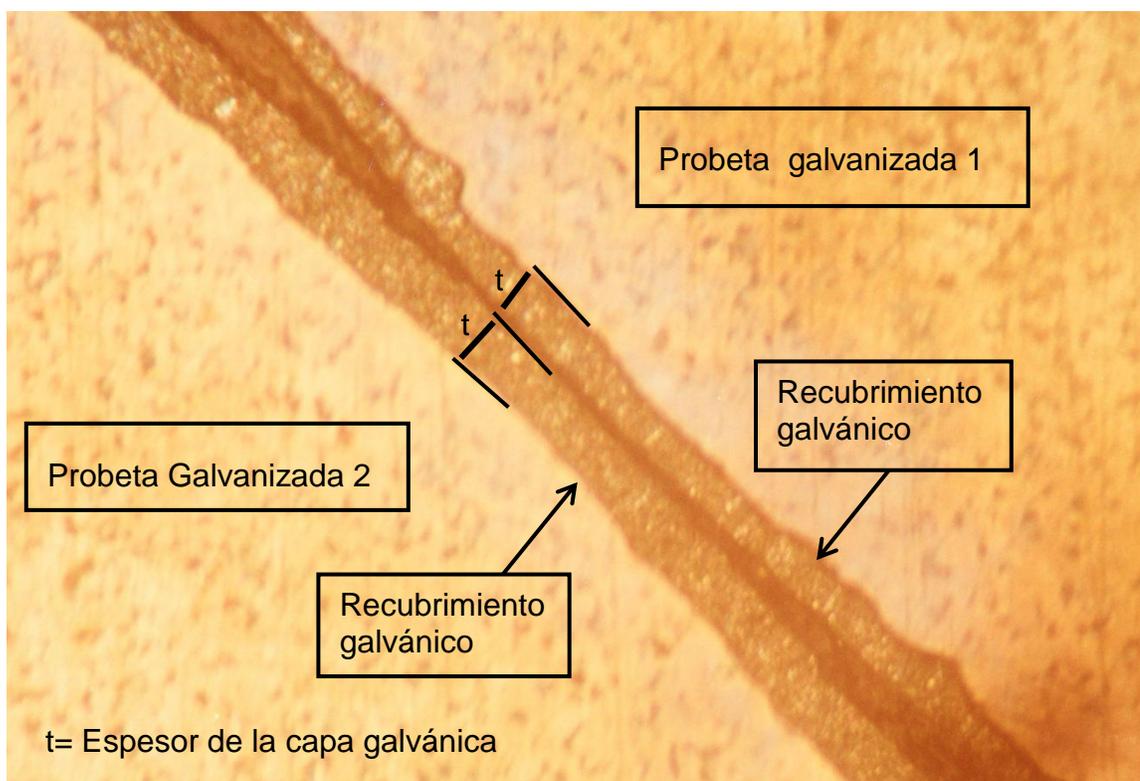


Fig. 3.17. Fotografía de una muestra metalográfica de un corte 2 probetas galvanizadas con un mismo tiempo de inmersión y diferente tiempo de decapado.

Medición del espesor del recubrimiento.

El espesor del recubrimiento se midió de la siguiente forma:

Se prepararon las muestras metalográficas en grupos de 3 con los diferentes tiempos de decapado y el mismo tiempo de inmersión para comprobar si existe alguna relación entre los diferentes tiempos de decapado con el espesor del recubrimiento, en total, se realizaron 3 embutidos con 3 muestras de las probetas, en total 9 muestras a medir. En la Tabla 3.3 se resume la distribución de las probetas embutidas para la realización de las metalografías.

Tabla 3.3 Grupos de probetas embutidas para la medición del espesor.

Numero de muestra embutida	Tiempos de decapado, min	Tiempo de inmersión, s
1	2, 4, 6	5
2	2, 4, 6	10
3	2, 4, 6	15

A cada grupo de probetas embutidas se le realizó un total de 12 mediciones siguiendo el esquema que se presenta en la Fig. 3.18, en total 36 mediciones realizadas con una lente graduada microscópica siguiendo las técnicas de medición que establece el fabricante de la lente y el microscopio utilizado. Después de tomadas las mediciones, que se presentan en la Tabla 3.4, y graficadas las mismas (ver, Fig. 3.19) se determina que los tiempos de inmersión y decapado no han tenido una influencia notable en el espesor del recubrimiento dado las similitudes de los espesores de recubrimientos medidos.

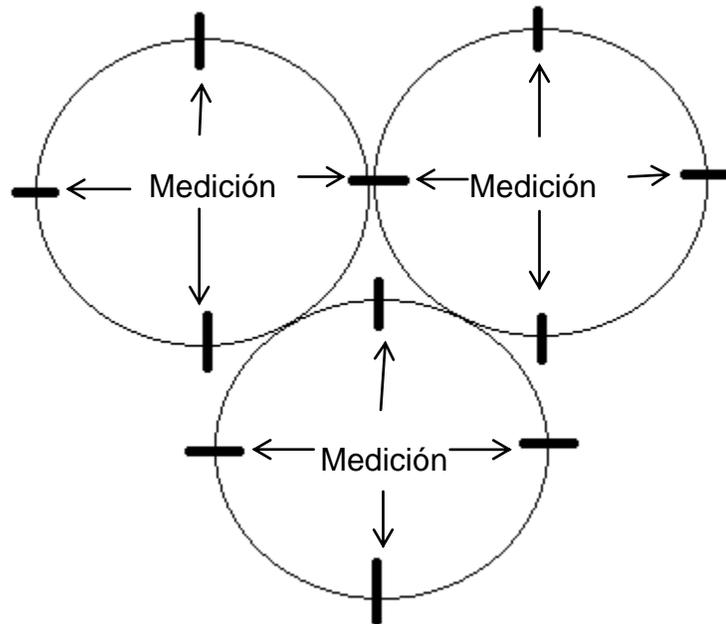


Fig. 3.18. Esquema de las mediciones de los espesores a las piezas galvanizadas embutidas para muestras metalográficas en grupos de 3.

Tabla 3.4 Resultado de las mediciones de los espesores a las piezas galvanizadas observadas con el microscopio.

Muestra embutida	Mediciones, μm											
1	25	27	26	25	26	26	26.5	27	25	26	26.5	26
2	25	25	26	27	27	26	26	26	26	27	26.5	26.5
3	26	27	27	26.5	26	26	26.5	26	27	26.5	26	26.5

Graficando los datos anteriores se tienen:

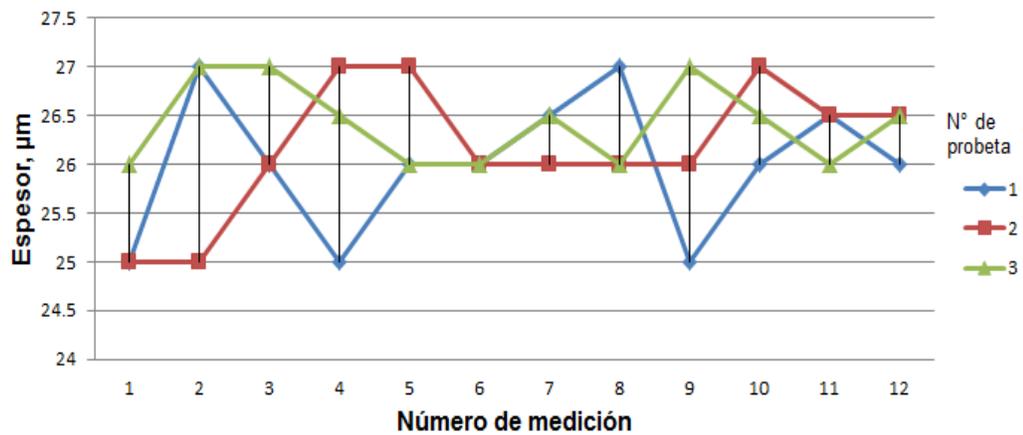


Fig. 3.19. Resultado de las mediciones de espesor a las muestras metalográficas.

Obteniendo la desviación estándar de las mediciones realizadas se tiene:

Muestra 1: 0.70710678201

Muestra 2: 0.685344417

Muestra 3: 0.417423555

Espesor medio del recubrimiento: 26 μm

De todos los valores obtenidos anteriormente y después de su respectivo análisis se obtienen las siguientes conclusiones:

Como una conclusión preliminar al revisar las fotografías y observar las probetas galvanizadas y ensayadas, se puede apreciar: las piezas que presentaron fallas corresponden a 6 min de decapado se tiene la hipótesis de que las fallas corresponden a un excesivo tiempo de decapado que repercute negativamente en la calidad de la adherencia del recubrimiento, que el % de zonas oscuras en la superficie de las piezas se incrementa al ser mayores los tiempos de inmersión y decapado de las piezas galvanizadas, se concluye también a través de las mediciones de espesor realizadas a las probetas galvanizadas que los tiempos de inmersión y decapado no afectan significativamente el valor del espesor del recubrimiento ya que todas las probetas que se midieron presentaban aproximadamente el mismo espesor sin importar el tiempo de inmersión o decapado que se le realizó.

CONCLUSIONES

Después de finalizadas las diferentes etapas del trabajo de graduación así como de las diferentes etapas de experimentación realizadas para comprobar la calidad y seguridad del sistema de galvanizado por inmersión caliente, se pueden concluir:

- Que se ha logrado implementar, instalar y construir satisfactoriamente el sistema de galvanizado en régimen discontinuo para uso didáctico e investigación planteado.
- Que los tiempos óptimos para realizar los decapados en hierro dulce son entre 2 y 4 min, debido a que los recubrimientos de zinc no presentan grietas después de realizado los ensayos de dobléz a 135°.
- Los tiempos óptimos de inmersión en el baño de zinc son entre 5 y 10 s, debido a que los recubrimientos no presentan grietas y su apariencia es satisfactoria.
- El espesor obtenido no depende de las variables estudiadas ya que para los diferentes tiempos de decapado y de inmersión en el baño de zinc se obtuvo el mismo espesor.

REFERENCIAS

- [1] Tecnología de Materiales - Carlos Ferrer Giménez, Vicente Amigó Borrás Prentice Hall Hispanoamericana, México ISBN 849705363X, 9788497053631
- [2] http://www.ucorp.cl/web_bbosch/galvanizado/mision_2.html
- [3] Robert Anthony Robinson, Roger G. Bates: Dissociation constant of hydrochloric acid from partial vapor pressures over hydrogen chloride-lithium chloride solutions, In: Analytical Chemistry, 43(7), 1971, pp 969-970
- [4] "Intoxicación con Ácido Clorhídrico." National Library of Medicine. Medline Plus, n.d. Miércoles. 16 Nov. 2011.
- [5] <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/> Número CAS
- [6] «Manufactura de Ácido sulfúrico».
- [7] www.agronotas.es/A55CA3/Agronotas.nsf/v_postid/7E0463D937111981C125755700394031
- [8] «Control y prevención de accidentes con ácido sulfúrico».
- [9] «Ácido sulfúrico concentrado y agua».
- [10] a b Wells, A.F. (1984) Structural Inorganic Chemistry, Oxford: Clarendon Press. ISBN 0-19-855370-6. En inglés.
- [11] a b c Holleman, A. F.; Wiberg, E., "Inorganic Chemistry" Academic Press: San Diego, 2001. ISBN 0-12-352651-5. En inglés.
- [12] Pray, A. P. "Anhydrous Metal Chlorides" "Inorganic Syntheses," vol. XXVIII, 321-2, 1990 ISBN 0-471-52619-3. Describe la formación de LiCl anhidro, CuCl₂, ZnCl₂, C d. C.l₂, ThCl₄, CrCl₃, FeCl₃, CoCl₂, and NiCl₂ a partir de sus correspondientes hidratos. En inglés.
- [13] S. R. Cooper, in Organic Syntheses Collective Volume 3, p 761, Wiley, New York, 1955. En inglés.
- [14] S. Y. Dike, J. R. Merchant, N. Y. Sapre, Tetrahedron, 47, 4775 (1991). En inglés.
- [15] R. L. Shriner, W. C. Ashley, E. Welch, in Organic Syntheses Collective Volume 3, p 725, Wiley, New York, 1955. En inglés.
- [16] B. S. Furnell et al., Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry, 5th edition, Longman/Wiley, New York, 1989. En inglés.
- [17] E. Bauml, K. Tschenschlok, R. Pock, H. Mayr, Tetrahedron Letters, 29, 6925 (1988). En inglés.
- [18] S. Kim, Y. J. Kim, K. H. Ahn, Tetrahedron Letters, 24, 3369 (1983). En inglés.
- [19] H. O. House, D. S. Crumrine, A. Y. Teranishi, H. D. Olmstead, Journal of the American Chemical Society, 95, 3310 (1973). En inglés.
- [20] <http://quimica.laguia2000.com/general/cloruro-de-amonio>
- [21] <http://es.wikipedia.org/wiki/Craqueo>
- [22] <http://es.wikipedia.org/wiki/Mojabilidad>
- [23] <http://www.sendzimir.com/>
- [24] <http://es.wikipedia.org/wiki/Coloide>
- [25] <http://es.wikipedia.org/wiki/Floculante>
- [26] [http://es.wikipedia.org/wiki/Exfoliaci%C3%B3n_\(mineralog%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Exfoliaci%C3%B3n_(mineralog%C3%ADa))

- [27] Diccionario de la Lengua Española Vigésima segunda edición Consultado el 18 de agosto de 201
- [28] «Variantes gráficas en palabras que pueden escribirse con z o con c ante e, i», en Ortografía de la lengua española. Real Academia Española (2010). ISBN 978-84-670-3426-4. Capítulo 6.2.2.7.1.2. Página 125.
- [29] «Cinc», en Diccionario panhispánico de dudas. Real Academia Española (2005)
- [30] Habashi, Fathi (PDF), Discovering the 8th Metal, International Zinc Association (IZA), consultado el 2010-08-18 (en inglés)
- [31] Enciclopedia Libre-Cinc o Zinc
- [32] International Zinc Association
- [33] Inorganic Chemistry, Holleman & Wiberg, Academic Press, 1995
- [34] Asociación Latinoamericana de Zinc – LATIZA
- [35] United States Geological Survey (USGS) (Enero de 2012). «La producción de cinc en el mundo en 2011
- [36] Hoja datos de seguridad Ácido Clorhídrico liquido.pdf
- [37] Reglamento transporte acido sulfúrico.pdf
- [38] CLORURO DE ZINC Favela PRO S. A. de C. V.pdf
- [39] Cloruro de amonio - Wikipedia, la enciclopedia libre
- [40] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html
- [41] proceso_de_decapado_para_metales_fosfomet_cl
- [42] ficha-1-2 galv.pdf
- [43] <http://www.asimet.cl/galvanizado.htm>
- [44] <http://www.asimet.cl/galvanizado.htm/beneficios>
- [45] Norma ASTM (A 153 / A 153M) (Original en inglés)
- [46] Norma ASTM B6 (Original en inglés)
- [47] _3161.pdf
- [48] <http://www.galcasur.com/?banner=proceso>
- [49] ASTM A370-03A: (original en inglés)
- [50] ASTM E8-04: (original en inglés)
- [51] Recubrimientos galvanizados en caliente para piezas y artículos diversos N I 00.06.10 Abril de 1999 EDICION: 2ª N O R M A I B E R D R O L A

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Amorfo: (del griego, prefijo a, negación, y la palabra morfo, forma; literalmente, sin forma.) es una de las estructuras que pueden adoptar los materiales en estado sólido que no tiene forma definida. Se dice, en particular, para definir sustancias que no cristalizan.

Ánodo: El ánodo es un electrodo en el cual se produce la reacción de oxidación.

Azeótropo: (o mezcla azeotrópica) es una mezcla líquida de dos o más Compuestos químicos que hierven a temperatura constante y que se comportan como si estuviesen formadas por un solo componente.

Calamina: también llamada hemimorfita es un mineral del grupo de los silicatos, subgrupo sorosilicatos. Calamina en realidad no es un sinónimo, es el término que usaban los mineros para designar a la mezcla que aparecía frecuentemente de hemimorfita. Es donde se obtiene el zinc a partir de la descomposición de dicho mineral extraído, valga la redundancia, de las minas.

Carbonatos: Los carbonatos son las sales del ácido carbónico o ésteres con el grupo R-O-C(=O)-O-R'. Las sales tienen en común el anión CO₃²⁻ y se derivan del ácido carbónico H₂CO₃. Según el pH (la acidez de la disolución) están en equilibrio con el bicarbonato y el dióxido de carbono.

Catálisis: Es el proceso por el cual se aumenta o disminuye la velocidad de una reacción química.

Catalizador: Es un elemento o compuesto químico aumenta o disminuye la velocidad de una reacción química.

Cátodo: Un cátodo es un electrodo en el que se genera una reacción de reducción, mediante la cual un material reduce su estado de oxidación al aportarle electrones.

Concentración: Desde la perspectiva de la química, concentración es una noción que describe a la relación, asociación o proporción que se puede establecer al comparar la cantidad de soluto (es decir, de sustancia capaz de disolverse) y el nivel de disolvente (es decir, la sustancia que logra que el soluto se disuelva) presentes en una disolución. Cuanto más baja sea la proporción de soluto disuelto, más chica será la concentración, y viceversa.

En el ámbito de la física, por otra parte, concentración es la magnitud que permite medir y dar a conocer cuánta cantidad de sustancia se puede encontrar en cada unidad de volumen. El Sistema Internacional establece que la unidad de concentración es el mol por metro cúbico.

Coloidal: (Estado coloidal o coloide) En física y química un coloide es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.¹ La fase dispersa es la que se halla en menor proporción. Normalmente la fase continua siendo líquido, pero pueden encontrarse coloides cuyos componentes se encuentran en otros estados de agregación.

Corrosión: Desgaste total o parcial que destruye, disuelve o ablanda cualquier sustancia por reacción química o electroquímica superficial a partir de agentes del medio ambiente. El término corrosión se aplica también a la acción gradual de agentes naturales, como el aire o el agua salada sobre los metales.

Craqueo: El craqueo es un proceso químico por el cual se quiebran moléculas de un compuesto produciendo así compuestos más simples.

Delicuescente: (sinónimo de higroscópico) Es la propiedad que presentan algunas sales y óxidos, principalmente de absorber moléculas de vapor de agua del aire húmedo para formar hidratos.

Despolarización catódica: Forma de protección superficial en la cual se busca evitar las reacciones electroquímicas entre metales y otros compuestos impidiendo la formación de cátodos.

Diamonio: Químico que presenta dos compuestos amonio. (El amonio es un catión poliatómico cargado positivamente, de fórmula química NH_4^+)

Dietiléter: El dietil éter es un líquido incoloro muy volátil, con un aroma dulzón y ligeramente acre (definiciones de olores químicos) muy característico.

Es altamente inflamable y lleva asociado un elevado riesgo de incendio y explosión, ya que sus vapores forman mezclas explosivas con el aire. También se oxida dando lugar a peróxidos explosivos.

Difusión: (difusión molecular) es un proceso físico irreversible, en el que partículas materiales se introducen en un medio que inicialmente estaba ausente, aumentando la entropía (Desorden molecular) del sistema conjunto formado por las partículas difundidas o soluto y el medio donde se difunden o disuelven.

Disulfuro: En química, el término disulfuro suele hacer referencia a la unión covalente de dos átomos de azufre.

Electronegatividad: La electronegatividad, denotada por el símbolo χ es una propiedad química que mide la capacidad de un átomo (o de manera menos frecuente un grupo funcional) para atraer hacia él los electrones, o densidad electrónica, cuando forma un enlace covalente en una molécula.

Espolvorear: Repartir un elemento o compuesto pulverizado, rociar ligeramente una fina capa de un elemento o compuesto sobre otro de mayor abundancia.

Estructura monocristalina: Constituidos por un solo tipo de red cristalina. Son sistemas homogéneos de grano único. Sin discontinuidades. Alta resistencia y baja capacidad de deformación.

Etimología: Se denomina etimología al estudio de los temas siguientes:

Origen de las palabras.

Cronología de su incorporación a un idioma.

Fuente y detalles de sus cambios estructurales (de forma) y de significado

Exfoliación: Es la tendencia de los materiales cristalinos para dividirse a lo largo de planos estructurales cristalográficos definidos.

Floculantes: (Floculante) Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación. Por ejemplo el alumbre, que es un grupo de compuestos químicos, formado por dos sales combinadas en

proporciones definidas una de las sales es el sulfato de aluminio o el sulfato de amonio.

Floreado: típico patrón estrella parecida a un copo de nieve o un patrón de estrella de resplandor reluciente característico de los metales galvanizados que es visible a simple vista.

Flux: Compuesto químico que acompaña a la soldadura eléctrica, para evitar la oxidación mientras está realizándose.

Galvanización: El galvanizado o galvanización es el proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro. Principalmente el zinc cubriendo el acero, este proceso se desarrolló a partir del trabajo de Luigi Galvani.

Hidrógenosulfato: El hidrógenosulfato o bisulfato es un anión ácido derivado del ácido sulfúrico.

Hidrólisis: es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente.

Hidróxidos: Son un grupo de compuestos químicos formados por un metal y uno o varios aniones hidroxilos, en lugar de oxígeno como sucede con los óxidos. Resultan de la combinación de un óxido básico con el agua.

Higroscópico: es una sustancia que tiene la capacidad de absorber o ceder humedad al medio ambiente.

Inhibir: (Inhibidor) es la sustancia o elemento que previene o retarda una reacción química; generalmente impide o retarda una combustión (oxidación).

Lantánida: son un grupo de elementos que forman parte del periodo 6 de la Tabla Periódica. Estos elementos son llamados «tierras raras» debido a que se encuentran en forma de óxidos, y también, junto con los actínidos, forman los «elementos de transición interna».

Lixivia: (Lixiviar) Separar por medio del agua u otro disolvente [una sustancia soluble] de otra insoluble.

Mojabilidad: es la capacidad que tiene un líquido de extenderse y dejar una traza sobre un sólido. Depende de las interacciones intermoleculares entre las moléculas superficiales de ambas sustancias. Se puede determinar a partir del ángulo que el líquido forma en la superficie de contacto con el sólido, denominado ángulo de contacto; a menor ángulo de contacto, mayor Mojabilidad.

Nitrosulfato: Compuesto químico que lleva los átomos de nitrógeno y azufre en su composición ejemplo el nitrato de amonio o nitrato amónico NH_4NO_3

Pasivación: (capa pasivante) impedir la interacción entre el metal y el agente externo actuante, de modo que cualquier reacción química o electroquímica se reduce o queda anulada.

Pentametilciclopentadieno: Compuesto químico cuya fórmula es: $(\text{C}_5\text{Me}_5\text{H})$

Pentóxido: Compuesto químico que posee cinco átomos de oxígeno en el compuesto como por ejemplo: El pentóxido de yodo (I_2O_5), Pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5)

pH: (potencial de hidrógeno) es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

Proceso Leblanc: Un proceso ideado y patentado en 1791 por el médico y químico francés Nicolás Leblanc. El proceso Leblanc implicaba las siguientes reacciones químicas:

Reacción de sal común con ácido sulfúrico: $2 NaCl + H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + 2 HCl$

Reacción de calcinación de Na_2SO_4 con caliza y carbón: $Na_2SO_4 + CaCO_3 + 2 C \rightarrow Na_2CO_3 + CaS + 2 CO_2$

Proceso Solvay: El método Solvay es un proceso químico utilizado para la fabricación de carbonato de sodio a nivel industrial.

Protección superficial: Los recubrimientos de protección o tratamientos de superficie se utilizan para evitar los efectos corrosivos del aire y mantener sus propiedades mecánicas de todas las piezas sometidas a cualquier tipo de atmosfera, tanto durante el periodo de almacenamiento como durante el tiempo en el que permanecen al aire libre en la aplicación donde hayan sido utilizadas.

Reacciones redox: reacciones de reducción-oxidación son las reacciones de transferencia de electrones. Esta transferencia se produce entre un conjunto de elementos químicos, uno oxidante y uno reductor (una forma reducida y una forma oxidada respectivamente).

Reactivo acidificante: Reactivo constitutivo de un ácido o que tiene la propiedad de comunicar sus cualidades ácidas a los demás cuerpos.

Reactivo valorante: reactivo añadido a la solución que contiene el analito (la especie química cuya concentración se desea conocer) para que reaccione completamente con este, y cuyo volumen permite el cálculo de la concentración.

Resistencia mecánica: La resistencia mecánica es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse. La resistencia mecánica de un cuerpo depende de su material y de su geometría. La Resistencia de Materiales combina los datos de material, geometría y fuerzas aplicadas para generar modelos matemáticos que permiten analizar la resistencia mecánica de los cuerpos.

Sendzimir: El galvanizado Sendzimir es un proceso de galvanizado en caliente de régimen continuo sin tratamiento previo con decapantes o fundentes. El galvanizado sendzimir se caracteriza por sus propiedades de adherencia especialmente buenas así como por su buena resistencia a la corrosión. El nombre el "Galvanizado Sendzimir" es en honor del inventor de este procedimiento.

Solución acuosa: Se habla de una disolución acuosa (aq. o ac.) siempre que el disolvente (o el disolvente mayoritario, en el caso de una mezcla de disolventes) es agua. El agua como disolvente es muy polar y forma puentes de hidrógeno muy fuertes.

Sulfonación: Sulfonación es todo procedimiento por el cual se introduce el grupo sulfónico SO_2OH a un átomo de carbono, o algunas veces a un átomo de nitrógeno. El resultado es la obtención de ácido sulfónico correspondiente.

Sustancias alcalinas: son aquellas cuyo pH (escala que mide la acidez de las sustancias) es mayor a 7, por ejemplo bases como los hidróxidos de sodio, de potasio, sustancias para la limpieza como el hipoclorito de sodio (lavandina o legía) el bicarbonato de sodio, etc.

Fuente: Referencias [1-40]

ANEXOS

Anexo 1.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE DE MATERIALES GENERALES

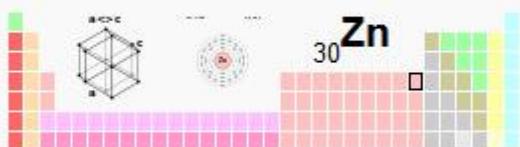
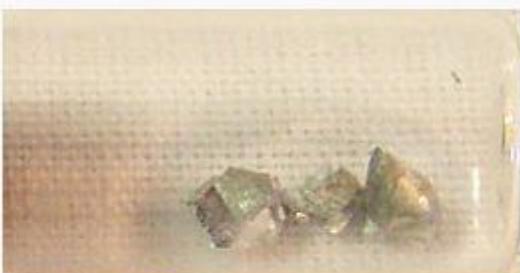
	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA EL GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE DE MATERIALES GENERALES			 SQA 703111
	SEGÚN NORMAS: ASTM 123/A 123M-02			
	REGISTRO		FECHA:	04-09-06

3. Requerimientos para la galvanización por inmersión en caliente.					
TIPO	ESPEORES MÍNIMOS DE RECUBRIMIENTO				
NORMA	ASTM 123/A 123M-02				
Espesores promedio mínimos de galvanizado según tipo de material (micrómetros)					
Espeor de material (mm)	<1,6	1,6 y < 3,2	3,2 a 4,8	>4,8 a <6,4	>= 6,4
Estructuras y planchas	45	65	75	85	100
Flejes y barras	45	65	75	85	100
Cafeterías y tubos	45	45	75	75	75
Cable	35	50	60	65	80

4. Requerimientos de reparación del recubrimiento posterior a la galvanización por inmersión en caliente.	
TIPO	REPARACIONES
NORMA	ASTM A-780
En esta etapa se destacan los procedimientos para reparar áreas dañadas o sin revestir debido a: <ul style="list-style-type: none"> • Soldadura post-galvanizado • Cortes de material post-galvanizado • Transporte post-galvanizado • Obras de montaje post-galvanizado 	

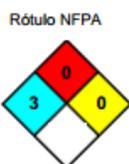
5. Certificados	
TIPO	CERTIFICACIONES
Se recomienda que las siguientes entidades muestren a solicitud del mandante, los certificados indicados a continuación: <ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: Certificado del proveedor del acero. • Fabricante: Composición química del acero. • Galvanizador: Certificado de calidad según norma ASTM A123/A 123M-02 • Galvanizador: Certificado ISO 9001:2000 • Contratista Constructor: Certificado de calidad según norma ASTM A780. 	

Anexo 2.- PROPIEDADES DEL ZINC.

Cobre ← Cinc → Galio	
 <p>Tabla completa • Tabla ampliada</p>	
 <p>Azul pálido grisáceo</p>	
Información general	
Nombre, símbolo, número	cinc, Zn, 30
Serie química	Metales de transición
Grupo, período, bloque	12, 4, d
Masa atómica	65,409 u
Configuración electrónica	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²
Dureza Mohs	2,5
Electrones por nivel	2, 8, 18, 2 (imagen)
Propiedades atómicas	
Radio medio	135 pm
Electronegatividad	1,6 (Pauling)
Radio atómico (calc)	142 pm (Radio de Bohr)
Radio covalente	131 pm
Radio de van der Waals	139 pm
Estado(s) de oxidación	2
Óxido	Anfótero
1.ª Energía de ionización	906,4 kJ/mol
2.ª Energía de ionización	1733,3 kJ/mol
3.ª Energía de ionización	3833 kJ/mol
4.ª Energía de ionización	5731 kJ/mol
Propiedades físicas	
Estado ordinario	Sólido (diamagnético)
Densidad	7140 kg/m ³
Punto de fusión	692,68 K (420 °C)
Punto de ebullición	1.180 K (907 °C)
Entalpía de vaporización	115,3 kJ/mol
Entalpía de fusión	7,322 kJ/mol
Presión de vapor	192,2 Pa a 692,73 K
Varios	
Estructura cristalina	Hexagonal
Nº CAS	7440-66-6 ↗
Nº EINECS	231-175-3
Calor específico	390 J/(K·kg)
Conductividad eléctrica	16,6 · 10 ⁶ S/m
Conductividad térmica	116 W/(K·m)
Velocidad del sonido	3700 m/s a 293,15 K (20 °C)

Anexo 3.- HOJA DATOS DE SEGURIDAD ÁCIDO CLORHÍDRICO LÍQUIDO

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO



Fecha Revisión: 19/12/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto:	ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO
Sinónimos:	Acido muriático, Cloruro de hidrógeno (cuando es gaseoso), Acido hidroclórico, Espíritus de sal
Fórmula:	HCl
Número interno:	
Número UN:	1789
Clase UN:	8
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad:	Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.
Teléfonos de Emergencia:	

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES				
Componente	CAS	TWA	STEL	%
Acido Hidroclórico	7647-01-0	N.R. (ACGIH 2004)	Ceiling: 2 ppm (ACGIH 2004)	37
Agua	7732-18-5	N.R. (ACGIH 2004)	N.R. (ACGIH 2004)	63

Uso: Síntesis química, procesamiento de alimentos (jarabe de maíz, glutamato de sodio), acidificación (activación) de pozos de petróleo, reducción de minerales, decapado y limpiado de metales, acidificante industrial, limpieza en general, p. ej. de membranas en plantas de desalinización, desnaturalizante de alcohol.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Líquido incoloro o ligeramente amarillo. ¡Peligro! Corrosivo e higroscópico. Puede ocasionar severa irritación al tracto respiratorio o digestivo, con posibles quemaduras. Puede ser nocivo si se ingiere. Produce efectos fatales de acuerdo con estudios con animales. Puede ser fatal si se ingiere o se inhala. Puede ser sensibilizador. Órganos blanco: sistema respiratorio, dientes, ojos, piel y sistema circulatorio.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación:	Corrosivo. Exposición ligera: irritación nasal, quemaduras, tos y sofocación. Exposición prolongada: quemaduras, úlceras en la nariz y la garganta. Si la concentración es elevada causa ulceración de la nariz y la garganta, edema pulmonar, espasmos, shock; falla circulatoria, incluso la muerte. Los síntomas del edema pulmonar pueden ser retardados.
Ingestión:	Corrosivo. Puede generar quemaduras en la boca, garganta, esófago y estómago; náuseas, dificultad al comer, vómito, diarrea; en casos graves, colapso y muerte. Puede ser fatal en concentraciones o dosis elevadas. En caso de broncoaspiración puede causar daños graves a los pulmones y la muerte.
Piel:	Puede causar inflamación, enrojecimiento, dolor y quemaduras, dependiendo de la concentración.

Ojos:	Corrosivo. Produce Irritación, dolor, enrojecimiento y lagrimeo excesivo. La solución concentrada o una sobreexposición a los vapores puede causar quemaduras de la córnea y pérdida de la visión.
Efectos crónicos:	Asma ocupacional. Las exposiciones repetidas a bajas concentraciones pueden generar coloración café y daños en el esmalte de los dientes, y dermatitis. La frecuente inhalación puede ocasionar sangrado de la nariz. También han sido reportadas bronquitis crónica y gastritis.
SECCIÓN 4: PROCEDIMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS	
Inhalación:	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial (evitar el método boca a boca). Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.
Ingestión:	Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Si éste se produce de manera natural, inclinar la persona hacia el frente para evitar la broncoaspiración. Suministrar más agua. Buscar atención médica.
Piel:	Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Bucar atención médica.
Ojos:	Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.
Nota para los médicos:	Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.

SECCIÓN 5: MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO	
Punto de inflamación (°C):	N.A.
Temperatura de autoignición (°C):	N.A.
Limites de inflamabilidad (%V/V):	N.A.
Peligros de incendio y/o explosión:	No es inflamable, pero en contacto con metales libera hidrógeno el cual es inflamable.
Medios de extinción:	Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de fuego del alrededor. En caso de grandes incendios use agua en forma de rocío, espuma resistente al alcohol.
Productos de la combustión:	Produce humos tóxicos más pesados que el aire. Al ser calentada la solución libera vapores tóxicos de cloruro de hidrógeno. A temperaturas superiores de 1500°C, libera cloro e hidrógeno.
Precauciones para evitar incendio y/o explosión:	Mantener lejos de fuentes de calor. Evitar que entre en contacto con sustancias incompatibles, como metales. Mantener buena ventilación a nivel del piso y no almacene en lugares altos.
Instrucciones para combatir el fuego:	Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Retirar los contenedores expuestos si no hay riesgo, en caso contrario, enfriarlos aplicando agua en forma de rocío en la parte externa, desde una distancia segura. Utilizar protección personal.
SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL	
Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventile el área. No tocar el líquido, ni permita el contacto directo con el vapor. Eliminar toda fuente de calor. Evitar que la sustancia caiga en alcantarillas, zonas bajas y confinadas, para ello construya diques con arena, tierra u otro material inerte. Dispersar los vapores con agua en forma de rocío. Mezclar con soda o cal para neutralizar. Recoger y depositar en contenedores herméticos para su posterior disposición. Lavar la zona con abundante agua.	

SECCIÓN 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO	
Manejo:	Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Evitar la liberación de vapor en las áreas de trabajo. Para diluir o preparar soluciones, adicionar lentamente el ácido al agua para evitar salpicaduras y aumento rápido de la temperatura. Debe tenerse cuidado con el producto cuando se almacena por períodos prolongados.
Almacenamiento:	Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. Separar de materiales incompatibles tales como agentes oxidantes, reductores y bases fuertes. Rotular los recipientes adecuadamente y manténgalos herméticamente cerrados. Proveer el lugar de un sistema de desagüe apropiado y con piso resistente a la corrosión. El sistema de ventilación debe ser resistente a la corrosión. Madera y otros materiales orgánicos combustibles, no deben ser usados sobre los pisos y estructuras del almacenamiento. Los contenedores no deben ser metálicos. El área de almacenamiento debe corresponder a corrosivos.
SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL	
Controles de ingeniería:	Ventilación local y general resistente a la corrosión, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Se debe considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Se debe garantizar el control de las condiciones del proceso. Suministre aire de reemplazo continuamente para suplir el aire removido. Debe disponerse de duchas y estaciones lavajojos.
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL	
Protección de los ojos y rostro:	Gafas de seguridad resistente a químicos con protección lateral.
Protección de piel:	Guantes overol y botas. Los materiales resistentes son: neopreno, nitrilo/polivinil cloruro, polietileno clorado, viton/neopreno, caucho natural, nitrilo, viton, butil/neopreno, clorobutilo, policarbonato, neopreno/PVC, caucho estireno butadieno
Protección respiratoria:	Respirador con filtro para vapores ácidos.
Protección en caso de emergencia:	Equipo de respiración autónomo (SCBA) y ropa de protección total que incluya: guantes, gafas, ropa de PVC y botas de caucho.
SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
Apariencia, olor y estado físico:	El ácido clorhídrico es un líquido humeante incoloro o amarillo claro con olor penetrante e irritante.
Gravedad específica (Agua=1):	1.184
Punto de ebullición (°C):	50 a 760 mm Hg.
Punto de fusión (°C):	-66
Densidad relativa del vapor (Aire=1):	1.27
Presión de vapor (mm Hg):	158 a 20 °C.
Viscosidad (cp):	0.48 a -155 °C.
pH:	0.1 (1N); 2.01 (0.01N).
Solubilidad:	Soluble en agua, alcoholes, éter y benceno. Insoluble en hidrocarburos.
SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
Estabilidad química:	Estable bajo condiciones normales de manipulación y almacenamiento. Es sensible a la luz solar directa.
Condiciones a evitar:	Calor, luz solar directa y materiales incompatibles.
Incompatibilidad con otros materiales:	Agua, metales activos, álcalis, óxidos metálicos, hidróxidos, aminas, carbonatos, anhídrido acético, óleum, ácido sulfúrico, vinil acetato, aldehídos, epóxidos, agentes reductores y oxidantes, sustancias explosivas, cianuros, sulfuros, carburos, acetiluros, boruros.
Productos de descomposición peligrosos:	Emite vapores tóxicos de cloruro de hidrógeno cuando se calienta hasta la descomposición y reacciona con agua o vapor de agua para producir calor y vapores tóxicos y corrosivos. La descomposición térmica oxidativa produce vapores tóxicos de cloro y explosivo gas de hidrógeno.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Los valores de toxicidad se han reportado para el producto concentrado
 DL50 (Intraperitoneal, ratón)=40,142 mg/Kg.
 DL50 (oral, conejo)=900 mg/Kg.
 LC50/1 H (inhalación, ratones)=1108 ppm.
 LC50 (inhalación, ratas) = 3124 ppm/1 H.
 La IARC (Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer) clasificó esta sustancia en el Grupo 3: no carcinogénico para humanos. Se está investigando por efectos mutágenicos, teratogénicos y reproductivos.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El principal efecto en el medio acuático es la alteración del pH, el cual dependiera de la concentración del ácido. Este ácido se caracteriza por disociarse totalmente; por lo tanto puede afectar significativamente las condiciones normales del medio acuático. Toxicidad peces: CL50/96 H (agua fresca, pez Mosquito) =282 ppm. Es mortal a concentraciones mayores de 25 mg/L.
 El producto en la superficie del suelo es biodegradable. Si se localiza dentro del suelo se puede filtrar a las fuentes de agua superficiales.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

Debe tenerse presente la legislación ambiental local vigente relacionada con la disposición de residuos para su adecuada eliminación.
 Considerar el uso del ácido diluido para neutralizar residuos alcalinos. Adicionar cuidadosamente ceniza de soda o cal, los productos de la reacción se pueden conducir a un lugar seguro, donde no tenga contacto el ser humano, la disposición en tierra es aceptable.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

Etiqueta negra y blanca de sustancia corrosiva. También se clasifica como sustancia peligrosa para el medio ambiente (Clase 9.2). No transporte con sustancias explosivas, gases venenosos, sustancias que puedan presentar combustión espontánea, comburentes, peróxidos, radiactivos ni sustancias con riesgo de incendio.

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

1. Ley 769/2002. Código Nacional de Tránsito Terrestre. Artículo 32: La carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada, embalada y cubierta conforme a la normatividad técnica nacional.
2. Decreto 1609 del 31 de Julio de 2002, Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
3. Ministerio de Transporte. Resolución número 3800 del 11 de diciembre de 1998. Por el cual se adopta el diseño y se establecen los mecanismos de distribución del formato único del manifiesto de carga.
4. Los residuos de esta sustancia están considerados en: Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos especiales.
5. Ministerio de Justicia. Ley 30 de 1986. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Estupefacientes y se dictan otras disposiciones.
 Ministerio de Justicia. Resolución 0009 del 18 de febrero de 1987. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución No 0031 de junio 13 de 1991. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución No 007 de 1992. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución 0001 del 30 de enero de 1995 por el cual se adiciona la resolución 09 de 1987. Mediante las cuales se establecen regulaciones para aquellas sustancias que puedan utilizarse para el procesamiento de drogas que producen dependencia.

SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES

La información relacionada con este producto puede no ser válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular

Anexo 4.- HOJA DE COTIZACIÓN DE UNA EMPRESA EN ESTUDIO DE COSTOS



ELECE, S.A. de C.V.

Productos Químicos

18 Calle Poniente No. 910

Barrio Santa Anita.

San Salvador. El Salvador.

Telefax (503) 2281-0383

San Salvador, 15 de Mayo del 2012

Señores
RICARDO SANCHEZ
Atn.:

Estimados Señores:

Agradecemos su confianza brindada al someter a su consideración

la siguiente C O T I Z A C I Ó N de nuestros Productos y Servicios:

Materias Primas
Reactivos
Equipos
Materiales
Limpieza
Desinfección
Procesos
Mantenimiento
Proyectos
Asesoría

CANTIDAD	UND	D E S C R I P C I Ó N	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
2	LT	ACIDO CLORHIDRICO	\$ 3.50	\$ 7.00
2	LT	ACIDO SULFURICO	3.75	7.50
1	Kg	SULFATO DE AMONIO	2.25	2.25
1	Kg	SULFATO DE ZINC HEPTAHIDRATO	7.50	7.50

NOTA: LOS TRES PRIMEROS SON PRODUCTOS CONTROLADOS Y NECESITAN PERMISO DEL MINISTERIO DE DEFENSA.

VIGENCIA	PAGO	CONDICIONES	ENTREGA
15 días	Contado	50 % al ordenar 50 % al entregar	3 días

LOS PRECIOS INCLUYEN I V A

Consideramos aceptada la oferta al firmar y sellar la presente.

Esperando poder servirles lo más pronto posible, de ustedes muy atentamente,
Ing. Carlos Ramón Linares Cea

Anexo 5.- PRÁCTICA DE LABORATORIO: PROCESO DE GALVANIZADO EN RÉGIMEN DISCONTINUO



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 DEPTO. DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

PRÁCTICA DE LABORATORIO: PROCESO DE GALVANIZADO DISCONTINUO

I INDICACIONES GENERALES

Para asegurar la calidad del proceso de galvanizado y la salud de las personas que realizan dicho proceso se recomienda acatar las siguientes recomendaciones y precauciones de Seguridad:

El local donde se realiza el proceso de galvanizado debe estar ventilado y las personas que realizan el proceso de galvanizado deberán estar todo el tiempo atendiendo las siguientes precauciones:

Deberán tener una mascarilla antigases químicos,

Deberán tener guantes para la manipulación de productos químicos

Deberán tener calzado cerrado y de cuero o material resistente

Deberán tener Gafas protectoras

La puerta del laboratorio deberá estar cerrada mientras se realiza el proceso de galvanizado

Máximo cuatro personas dentro del laboratorio

No exponer los químicos o reactivos a fuentes de calor combinarlos entre sí o con otros químicos ajenos a los que aquí se mencionan

En caso de contacto de algún químico con la piel lavar con abundante agua y en caso de ingesta accidental o contacto con los ojos llevar inmediatamente al centro del salud más cercano

Al momento de la práctica deberá señalizarse que se está realizando dicho trabajo y que está prohibido la permanencia en dicha zona sin el equipo adecuado

Al terminar la práctica se guardaran todos los químicos en envases debidamente identificados con su tiempo de uso, cantidad y concentración, si esto es posible. Almacenar en un lugar fresco y seco alejado del sol o cualquier fuente de calor lejos de otros productos químicos.

II OBJETIVO GENERAL

Realizar el proceso de galvanizado por inmersión caliente tomando en cuenta todas las precauciones y recomendaciones necesarias para obtener un recubrimiento de gran calidad y seguridad tanto para los equipos como a las personas que realizan dicho proceso.

III OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer las precauciones de seguridad para la realización del proceso de galvanizado

Conocer y realizar las diferentes etapas del proceso de galvanizado.

Aprender e identificar los procesos de limpieza, decapado, fluxado, secado e inmersión en caliente del galvanizado.

Aprender a manipular las piezas a galvanizar para el proceso

Conocer las formas de enfriamiento que se pueden hacer para el galvanizado

IV ANTECEDENTES

Un modo para aprovechar la alta resistencia mecánica de los materiales como el acero, en ambientes calificados como corrosivos, es su protección superficial con otros metales que presentan un mayor comportamiento de más resistencia a esos ambientes corrosivos.

Una de las técnicas más económicas y, por lo tanto, de gran aplicación industrial es la inmersión del acero en un baño líquido del metal protector durante el tiempo necesario para procurar el proceso de difusión y, por lo tanto, la formación y adherencia de una capa de recubrimiento que queda después de su solidificación.

Los metales o aleaciones que pueden ser utilizadas como recubrimiento deben cumplir los requisitos siguientes:

1. Pasivos en el ambiente corrosivo.
2. Posibilidad para formar aleación con el acero, mediante su difusión a las temperaturas que se realiza la inmersión.

Los metales que cumplen con estos requisitos son variados. En el caso del acero se puede citar el zinc, aluminio, y cadmio como los más electronegativos, y el estaño, níquel, cobre, cromo. Como menos electronegativos.

El mecanismo de protección contra la corrosión es diferente según su nivel electronegativo. Los más electronegativos que el acero lo protegen por protección catódica en el cual el recubrimiento transforma en ánodo las partes descubiertas, como poros o rallas

El ámbito de aplicación es muy amplio: tuberías, estructuras, chapas de carrocería son de chapa galvanizadas; tubos de escape de automóviles recubiertos en aluminio; botes de conserva recubiertas en estaño, etc.

V EQUIPO Y MATERIALES A UTILIZAR

Químicos:



Cloruro de zinc para el proceso de fluxado



Cloruro de amonio para el proceso de fluxado



Ácido sulfúrico para el proceso de decapado

Materias primas:



Zinc puro para la inmersión en caliente



Piezas para galvanizar

Equipos:



2 Bandejas: una para decapado y otra para fluxado.



1 Horno para la fundición e inmersión en caliente.



1 Crisol para la fundición del zinc.



Equipos para manipulación de piezas de los diferentes procesos de decapado, lavado, fluxado, secado, etc.



Equipos de seguridad para la manipulación de productos químicos, y en los procesos de decapado fluxado e inmersión en caliente.



Equipo para secado de las piezas a galvanizar con aire caliente.

Descripción del material a galvanizar:

Son piezas de acero común de bajo contenido de carbono que deben cumplir los siguientes requisitos para emplear correctamente el proceso de galvanizado: Libre de pintura, grasa, sin partes oxidadas de preferencia limpios de cualquier otro químico que pueda reaccionar con los ácidos decapantes. Así como de residuos metálicos, escoria de soldadura o virutas de cualquier índole.

VI PROCEDIMIENTO

Paso 1 Limpieza:

Primero se deberá asegurar que no existen en las piezas metálicas ningún tipo de impureza como tierra, pintura, grasas o aceites, entre otros. Con diferentes artículos de limpieza como jabones y detergentes solubles en agua, se deberá lavar todas las piezas metálicas para asegurar la ausencia tierra y otros elementos extraños que puedan estar en la superficie de metal, después se procederá al proceso de desengrasado de las piezas dicho proceso se llevara a cabo lavando estas piezas metálicas con solventes industriales tales como la soda caustica entre otros tipos de solventes que sean solubles en agua.

Paso 2

Luego de lavados todos los elementos metálicos se procede a su posterior secado con paños de tela u otro tipo de secado que no produzca ningún tipo de pelusa para evitar añadir impurezas en el próximo paso en el proceso de galvanizado.

VII DECAPADO

Paso 3

Después del secado, se procede al proceso de decapado de las piezas metálicas, este proceso se realizará con ácido sulfúrico y las siguientes especificaciones:

Concentración del ácido: 10%

Temperatura del ácido: constante a 50 °C

Volumen de líquido: 1 l.

Con la temperatura y concentración de ácido dadas anteriormente además de una buena limpieza antes del proceso donde no existe la presencia de óxidos, grasa, pinturas etc. basta con 2 minutos de tiempo de decapado.

La concentración inicial del ácido es de aproximadamente 99% (Prácticamente 100%) para esto la proporción de ácido puro con respecto al agua debe ser de una a diez o que es lo mismo, por cada 10 ml de agua pura debe existir 1 ml de ácido sulfúrico puro.

Es bueno que cuando las piezas estén sumergidas en el ácido se agiten para acelerar el proceso de decapado.

VIII MANIPULACIÓN DE PIEZAS

Las piezas después de decapadas en ningún momento deben tocarse con las manos o cualquier instrumento que presente grasa óxidos u otros residuos, utilizar únicamente los instrumentos de manipulación destinados para este propósito.

Paso 4

Después de terminado el decapado se lavan las piezas con chorro de agua fría (temperatura ambiente) por lo menos 1 minuto para asegurar la ausencia de residuos en la pieza y para terminar de asegurar la limpieza se sumergen dichas piezas decapadas en agua caliente a unos 80 °C por lo menos otros 2 minutos

Paso 5

Se secan nuevamente las piezas decapadas con un paño limpio que no deje ningún tipo de residuos en las piezas, o bien con chorro de aire caliente.

IX FLUXADO

Paso 6

Se realiza una solución acuosa en combinación de cloruro de zinc y cloruro de amonio, la proporción de cloruro de zinc con respecto al cloruro de amonio es 1 g de cloruro de zinc por cada 2 g de cloruro de amonio y la concentración de la combinación de ambos debe ser de unos 500 g por un litro de dichas sales.

Sea: X = cantidad en g de cloruro de amonio

Y = cantidad en g de cloruro de zinc

Si debe cumplirse que:

$$X + Y = 500 \text{ (A)}$$

$$Y = 2X \text{ (B)}$$

Entonces resolviendo (A) y (B) se tiene que:

$$X = 166.67 \text{ g}$$

$$Y = 333.33 \text{ g}$$

Todo lo anterior debe estar disuelto en un litro de agua pura que debe estar a una temperatura de unos 60 °C un máximo de 2 minutos para asegurar la adhesión de las sales a la superficie de las piezas a galvanizar.

Dependiendo la calidad y limpieza del lavado y decapado anterior al fluxado, esta solución puede mantenerse útil durante años y no perder sus propiedades químicas deseadas para el proceso de galvanizado.

X SECADO EN AIRE CALIENTE

Paso 7

Los productos mojados por la solución acuosa de las sales del flux, deben secarse antes de su introducción en el baño de zinc, lo que se realiza en un equipo de secado con aire caliente a una temperatura arriba de los 60 °C el tiempo suficiente como para asegurar completa ausencia de humedad.

XI INMERSIÓN EN CALIENTE

Paso 8

La operación de galvanización propiamente dicha se realiza sumergiendo las piezas en un baño de zinc fundido, a temperatura comprendida entre 440 y 460 °C, el tiempo en que debe mantenerse la pieza sumergida en el baño de zinc es el tiempo necesario para que la pieza a galvanizar alcance la temperatura del baño que puede variar dependiendo del tamaño y forma de la pieza a galvanizar.

La velocidad de inmersión será la más rápida posible, solo condicionada, por la violencia de las proyecciones de zinc en las piezas húmedas

Paso 9

Extracción del material: Antes de extraer el material del baño de zinc, deben apartarse las cenizas de la superficie. Las cenizas que permanezcan sobre ésta, en la zona de extracción, pueden quedar entre el recubrimiento, modificando el aspecto del material recubierto. La velocidad de extracción, determina la capa de zinc sin alear sobre el material. La velocidad de extracción, deberá ser igual o menor a la de escurrido de zinc, considerándose óptima hasta un máximo de 1.50 metros/min. Una velocidad rápida oscila entre los 8 y 10 metros por minuto.

Paso 10

Una vez fuera del baño de galvanización los productos pueden enfriarse en agua o dejarse enfriar al aire.

XII ACABADO

Paso 11

A continuación pasan a la fase de acabado para eliminar rebabas, gotas punzantes y adherencias superficiales de cenizas o restos de sales y finalmente, se someten a inspección. Los recubrimientos galvanizados sobre artículos diversos deben cumplir una serie de requerimientos sobre aspecto superficial, adherencia y espesor que vienen especificados en las normas.

XIII ENFRIAMIENTO

Las 2 formas más comunes de enfriamiento disponibles son el enfriamiento por aire quieto y enfriamiento en baño de agua a temperatura ambiente en ambos casos se obtienen buenos resultados de acabado y limpieza del recubrimiento

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS:

Trabajo de Graduación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE GALVANIZADO

ASTM 153/153M: Especificación estándar para recubrimiento de zinc por inmersión en caliente sobre hierro y herrajes de acero

ASTM B6: Especificación estándar del zinc

Anexo 6.- LABORATORIO: MEZCLA DE REACTIVOS QUÍMICOS PARA GALVANIZADO



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPTO. DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

LABORATORIO: MEZCLA DE REACTIVOS QUÍMICOS PARA GALVANIZADO

I INDICACIONES GENERALES

Importante contar con el equipo y protección adecuados para la manipulación de estos productos químicos ya que son altamente tóxicos, inflamables y reactivos frente a otros productos químicos, evitar, cuando se realicen las mezclas, la adición de productos químicos ajenos a los de la mezcla, evitar altas temperaturas, fuego, contacto con piel, ojos o cualquier parte del cuerpo, en caso de contacto lavar con abundante agua y en caso de ingestión accidental acudir al centro de salud más cercano para evaluación médica.

II OBJETIVO GENERAL

Obtener las mezclas de los reactivos químicos adecuados para el proceso de galvanizado tomando en consideración las precauciones necesarias para lograr una mezcla óptima y que dicha mezcla sea lo más segura y rápida posible.

III OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conocer las proporciones adecuadas para establecer un litro de mezclas para las diferentes etapas del proceso de galvanizado.

Conocer los materiales y equipos necesarios para la realización de la mezclas de reactivos.

Conocer las precauciones de seguridad que deben tomarse al momento de la mezcla y los tipos reacciones que tienen lugar cuando se realizan dichas mezclas.

Conocer las formas de almacenamiento de las diferentes mezclas así como de los reactivos puros en si

Aprender el procedimiento de mezclas de los reactivos químicos

IV ANTECEDENTES

Para un proceso de galvanizado correcto con buen aspecto superficial y una gran adherencia del recubrimiento es de vital importancia que los procesos de decapado y fluxado sean los más adecuados posibles, para eso es necesario una correcta mezcla de los químicos reactivos, que junto al tiempo de inmersión en el baño y temperatura de la misma adecuados, garantizan un proceso tanto de decapado como fluxado adecuado para el material, tamaño y cantidad de

piezas inmersas en el baño. Para el proceso de galvanizado se emplean químicos reactivos que limpian químicamente a los metales como lo son el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico, por sus mejores propiedades decapantes y escasa volatilidad se escoge al ácido sulfúrico para el decapado y para el fluxado se utilizan las sales cloruro de amonio y cloruro de zinc. Todos los químicos anteriores estarán disueltos en solución de un litro de agua.

V QUÍMICOS A MEZCLAR

Los químicos a utilizar se presentan en la siguiente Fig. 1 tal como se obtienen del vendedor con las concentraciones siguientes:

Ácido sulfúrico: (Metalklin ASN Limpiador de metales) concentración 99% (prácticamente 100%)

Cloruro de Zinc: 1Kg de cloruro de zinc puro disueltos en solución acuosa con una proporción de 50/50 de agua y dicho compuesto

Cloruro de Amonio en estado sólido (polvo) puro



Fig. 1. Químicos reactivos a mezclar tal como se obtienen del proveedor.

VI CONSIDERACIONES

Las consideraciones pertinentes con respecto al ácido sulfúrico son: que para fines prácticos se considera el 100% de pureza de concentración, con respecto a las mezclas estas deben realizarse siempre en contenedores de vidrio o cerámicos resistentes a altas y bajas temperaturas nunca en plásticos o metales de cualquier índole y la velocidad del proceso de mezclado debe ser lo más lenta posible para no generar vapores tóxicos y excesos de temperatura en la mezcla de químicos.

VII MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

Los equipos a utilizar obligatoriamente para la realización de las mezclas de los reactivos y para mayor seguridad deben ser los siguientes:

Gafas protectoras para los ojos

Mascarillas especiales para productos químicos

Guantes de látex especiales para la manipulación de los químicos

Un lugar bien ventilado y con ausencia de cualquier otro químico que pueda reaccionar con los reactivos ya mencionados

Un beaker para medir volumen de por lo menos 600 ml limpio y una balanza para medir masa

Recipientes para la realización de las mezclas

Un utensilio para agitar las mezclas

VIII PROCEDIMIENTO

Ácido sulfúrico:

Se tiene desde el proveedor una pureza aproximada del 100% y se desea tener para el proceso de galvanizado, un litro de solución acuosa con el 10% de ácido sulfúrico para obtener esto se realiza lo siguiente:

Paso 1

Se miden con el beaker 10 ml de ácido sulfúrico puro, el beaker debe estar libre de agua o cualquier otro producto químico que pueda reaccionar con dicho ácido, para mayor seguridad lavar y secar previamente el beaker de medición.

En la Fig. 2 se presenta como se agrega el ácido sulfúrico puro al beaker.



Fig. 2. Medición de volumen de ácido sulfúrico puro en beaker.

Paso 2

Habiéndose medido un volumen de 10 ml se procede a colocar dicho ácido en el contenedor de la mezcla para su posterior mezclado, dicho recipiente debe estar seco y limpio como se presenta en la Fig. 3



Fig. 3. Vertiendo el ácido sulfúrico puro en un contenedor limpio para su posterior mezclado.

Paso 3

Después de vertido el ácido puro se procede medir con este beaker 900 ml de agua químicamente pura o limpia dependiendo del tamaño del beaker se pueden hacer una o más mediciones hay que tener gran cuidado ya que en dicho beaker puede haber residuos del ácido sulfúrico puro aun y que al mezclarse con el agua se genera una reacción exotérmica (se libera calor) lo que puede generar el calentamiento del beaker y la emisión de gases o vapores venenosos hay que tener cuidado y verter el agua lentamente en el beaker tal como se muestra en la Fig. 4.



Fig. 4. vertido de agua pura en el beaker

Paso 4

Agregar lentamente los 900 ml de agua al depósito donde está el ácido esto se debe hacer lo más despacio posible ya que en el proceso de mezcla se produce una violenta reacción exotérmica y generación de vapores tóxicos que deben ser controlados cuidadosamente para evitar salpicaduras de mezcla y sobrecalentamiento del depósito, hay que tener en cuenta que nunca se debe realizar esta mezcla en orden inverso que sería vertiendo el ácido sulfúrico puro

en el agua ya que la violencia de la reacción es mucho más severa que como se está describiendo actualmente. En la Fig. 5 se presenta como se realiza este paso.



Fig. 5. Mezcla de agua en el ácido sulfúrico puro se aprecia la emanación de vapores producto de la reacción exotérmica que ocurre.

Paso 5

Se espera a que la mezcla tenga la temperatura ambiente y con esto se ha concluido el proceso de mezcla del ácido sulfúrico donde se tiene un litro de solución con una concentración del 10% lista para el proceso de decapado en el galvanizado.

IX MEZCLA DE REACTIVOS PARA FLUXADO

Para las mezcla de fluxado se necesitará una balanza y un beaker para medir masa y volumen respectivamente, la dificultad en este proceso de mezclado radica en que la proporción en la que se entrega el cloruro de zinc es de tal forma que no se puede obtener directamente la proporción de un gramo de cloruro de zinc por cada 2 g de cloruro de amonio en un litro de solución. Para lograr esa mezcla se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Consideraciones para el mezclado de las sales de fluxado:

El cloruro de zinc viene en presentación de 1 Kg de solución acuosa de cloruro de zinc en una proporción de 50/50, esto quiere decir que de un kilogramo de solución 500 g son de cloruro de zinc puro y los otros 500 g son de agua pura, se desea una proporción de un gramo de cloruro de zinc por cada 2 g de cloruro de amonio y la concentración de la combinación de ambas sales debe ser de unos 500 g por un litro de solución acuosa que por la teoría del galvanizado es necesaria y suficiente para el proceso de fluxado, con esto se debe cumplir que:

Sea: X = cantidad en g de cloruro de amonio

Y = cantidad en g de cloruro de zinc

Si debe cumplirse que:

$$X + Y = 500 \text{ g (A)}$$

$$Y = 2X \text{ (B)}$$

Entonces resolviendo (A) y (B) se tiene que:

$$X = 166.67 \text{ g}$$

$$Y = 333.33 \text{ g}$$

Entonces con este conocimiento se realiza la mezcla con los siguientes pasos:

Paso 1

En la balanza que se presenta en la Fig. 6 se coloca el beaker vacío para medir su masa que será restada del total para conocer la masa de sales deseada. En la Tabla 1 que esta al final del paso 3 se coloca el valor en g de la masa del beaker vacío

Paso 2

Conocido la masa del beaker vacío se vierte la solución acuosa de cloruro de zinc en dicho instrumento sobre la balanza hasta que se tenga una masa total de $666.67 \text{ g} + \text{masa del beaker}$, se sabe de las consideraciones anteriores que de estos 666.67 g de solución 333.33 g son de cloruro de zinc y 333.33 g son de agua, dada su relación 50/50 que viene proporcionado por el vendedor de los productos y esos 333.33 g de cloruro de zinc son los que se han calculado de las consideraciones hechas para este proceso de mezclado.

Paso 3 al mismo tiempo que se mide la masa de la solución con la balanza también debe medirse el volumen que ha ocupado dicha solución y anotar todos los datos anteriores en la Tabla 1

Tabla 1. Valores medidos de la solución de cloruro de zinc y agua para realización de la mezcla de fluxado.

Masa del beaker vacío (g) (A)	
Masa total con la solución (g) (B)	
Masa de la solución (g) (B-A)	666.67 g
Volumen de la solución (ml)	



Fig. 6. Balanza para la medición de masa necesaria en la mezcla de sales para fluxado

Paso 4

Conocidos la masa y respectivo volumen de la solución de cloruro de zinc se vierte dicha solución en un depósito donde se realizara la mezcla final.

Paso 5

Conociendo la masa del beaker vacío se miden en la balanza 166.67 g de cloruro de amonio en polvo teniendo en cuenta que en el beaker pueden existir residuos de la solución anterior y que al mezclarse con el cloruro de amonio producen una reacción endotérmica (se absorbe calor) y que el beaker puede sufrir descensos de temperatura

Paso 6

Medida esta masa se mezcla el cloruro de amonio en la solución de cloruro de zinc que fue vertida previamente en un recipiente destinado al mezclado, al combinarse estos químicos se produce una reacción endotérmica que puede descender bruscamente la temperatura del recipiente hay que tener en cuenta que el recipiente debe ser capaz de resistir dichos cambios bruscos de temperatura.

Paso 7

De la medición de volumen anterior se debe tener en cuenta que dicha medición debería ser inferior a un litro y debe ser así por la masa que se ha determinado que se tiene que encontrar, conocido esto simplemente se resta de un litro de solución dicho volumen medido para determinar la cantidad de agua limpia adicional que debe agregarse para obtener finalmente un litro de solución de sales con proporción de 2 a 1 g de dichas sales y que en combinación tengan 500 g de masa, entonces:

Volumen de agua limpia a agregar = 1000 ml – medición de volumen de solución cloruro de zinc en ml

Paso 8

Esperar a que dicha mezcla alcance la temperatura ambiente y ya se tiene la mezcla lista para utilizarse.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS:

Trabajo de Graduación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE GALVANIZADO

<http://www.asimet.cl/galvanizado.htm>

<http://www.asimet.cl/galvanizado.htm/beneficios>

<http://www.galcasur.com/?banner=proceso>

Anexo 7.- INSTRUCCIONES PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS Y CONJUNTOS QUE DEBAN SER GALVANIZADOS EN CALIENTE ^[51]

B.1 Objeto

Este Anexo tiene por objeto orientar a los proyectistas en la resolución de los problemas que frecuentemente se presentan en el diseño y construcción de piezas y elementos que han de someterse a galvanizado en caliente.

Van encaminadas a la obtención de un recubrimiento de buena calidad.

Para la resolución de casos especiales es aconsejable consultar al Servicio de Protección Anticorrosiva y, si fuera necesario, al propio galvanizador.

B.2 Tamaño de las piezas

Cuando se trate de galvanizar conjuntos de tamaño o forma fuera de lo normal es muy conveniente consultar al galvanizador sobre las dificultades que puedan presentarse y sus posibles soluciones. En ocasiones será preciso proyectar el conjunto descomponiéndolo en elementos cuyo galvanizado no entrañe complicaciones.

Es muy conveniente que, a ser posible, el galvanizado de cada elemento se realice de forma total en una inmersión.

B.3 Limpieza

Es indispensable que las piezas a galvanizar estén limpias de:

- Aceite
- grasa
- cales
- pinturas
- barnices
- otros revestimientos sintéticos

Estas sustancias no desaparecen durante el decapado y como consecuencia impiden un buen galvanizado. Es muy frecuente encontrar:

- piezas con señales y marcas pintadas
- depósitos con fondos grasientos
- codos, bridas, etc. con un baño de barniz

Normalmente el fabricante dispone de una instalación de desengrasado en caliente.

A excepción de la grasa, cualquier limpieza adicional en el taller de galvanizado encarece innecesariamente esta operación.

La limpieza de trozos de pintura o grasa puede realizarse con tricloroetileno u otro producto adecuado.

El barniz de codos y bridas se elimina por quemado. La grasa de depósitos o cuerpos huecos puede eliminarse sumergiéndolos en una solución de fosfato trisódico.

B.4 Limpieza de los cordones de soldadura

Es imprescindible la eliminación cuidadosa de la escoria que pueda quedar sobre los cordones de soldadura eléctrica. (Ver Fig. B.1).

Esta operación puede realizarse mediante picado seguido de un cepillado enérgico. Cuando el cordón es inaccesible a la piqueta o al cepillo se recomienda el chorro de arena.

La razón de esta limpieza es la ineficacia del decapado sobre los residuos de soldadura, que provocaría un mal galvanizado.

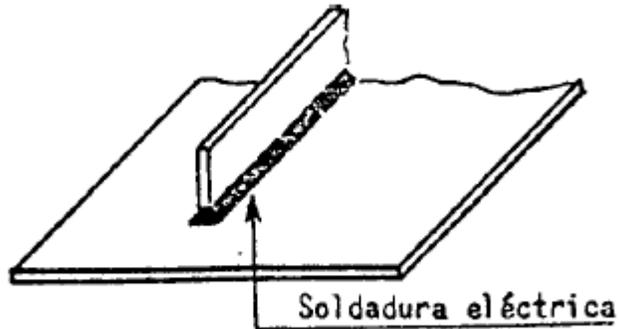


Fig. B.1 Chapas unidas por soldadura eléctrica: es necesaria la limpieza del cordón de soldadura

B.5 Unión de superficies por contacto o solape

Todos los bordes contiguos de superficies en contacto estrecho deben estar cerrados con un cordón de soldadura totalmente estanco. (Ver Fig. B.2).

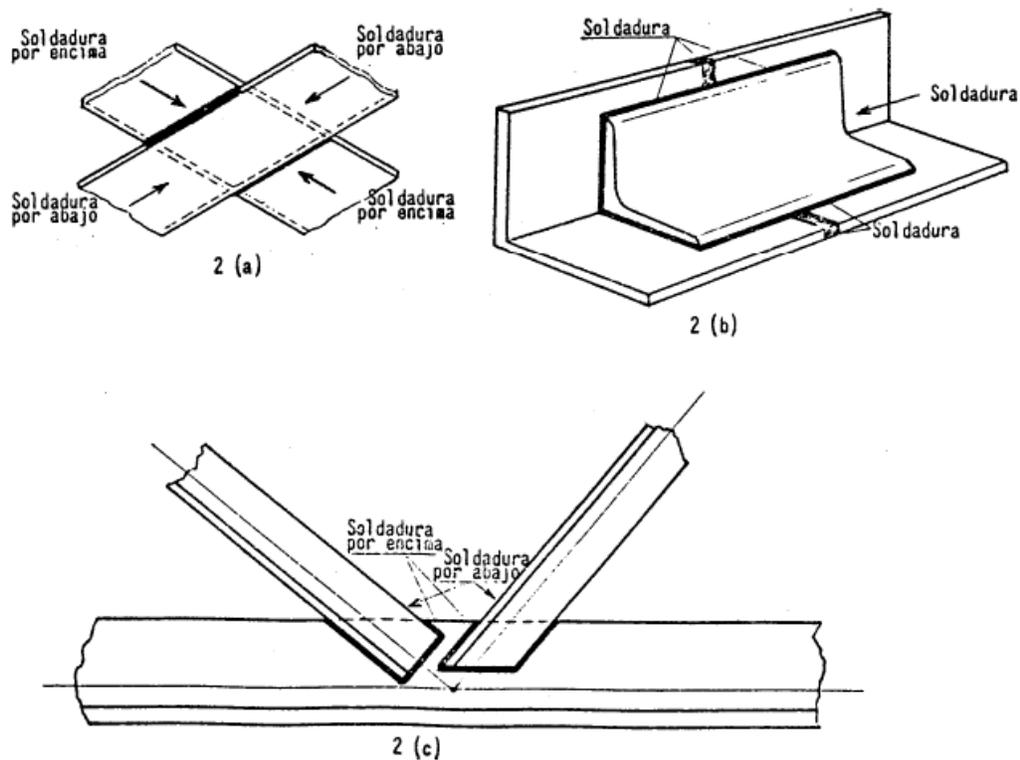
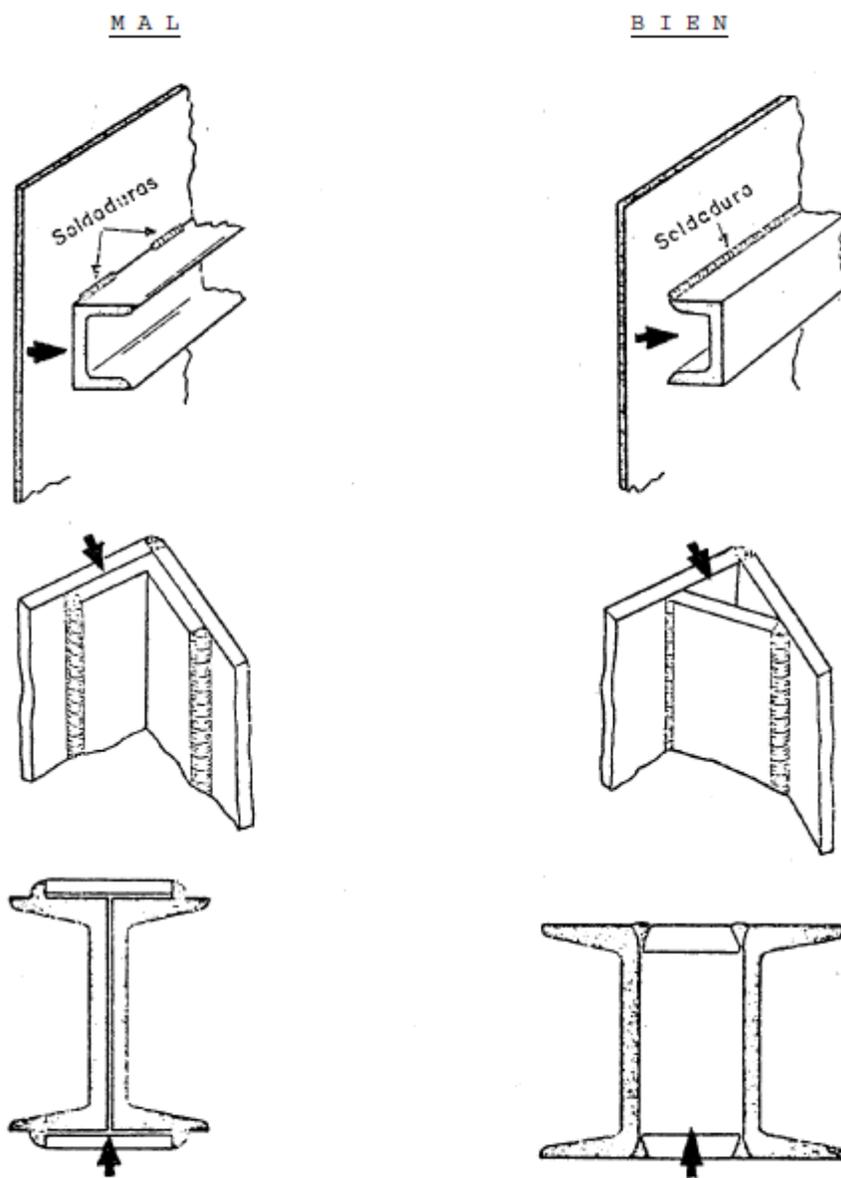


Fig. B.2 Sellado total, por soldadura, de las superficies en contacto

De esta manera, además de proteger a los operarios galvanizadores, de riesgos de explosión, se evitará:

- la penetración del ácido de decapado entre las piezas unidas
- que se produzca oxidación posterior en las caras de contacto, las cuales, por estar muy juntas, no queden galvanizadas por no permitir la libre circulación del zinc fundido entre ellas

Cuando no es posible sellar por soldadura los bordes tal y como se ha indicado, es preferible, si ello es factible, modificar la forma de construcción de manera que se permita la libre circulación en las diferentes partes de las piezas, tanto del ácido del decapado como del zinc fundido. (Ver Fig. B.3).



Las flechas indican los puntos por donde el zinc no podrá penetrar libremente.

Fig. B.3 Ejemplos de modificaciones en la forma de construcción de manera que se permita la libre circulación en las diferentes partes de las piezas

Las flechas indican las variaciones realizadas para permitir un galvanizado total y correcto.

B.6 Construcciones tubulares

Las uniones entre tubos se realizarán, tal como se ve en la Fig. B.4, practicando orificios que permitan la libre circulación de los ácidos y del zinc.

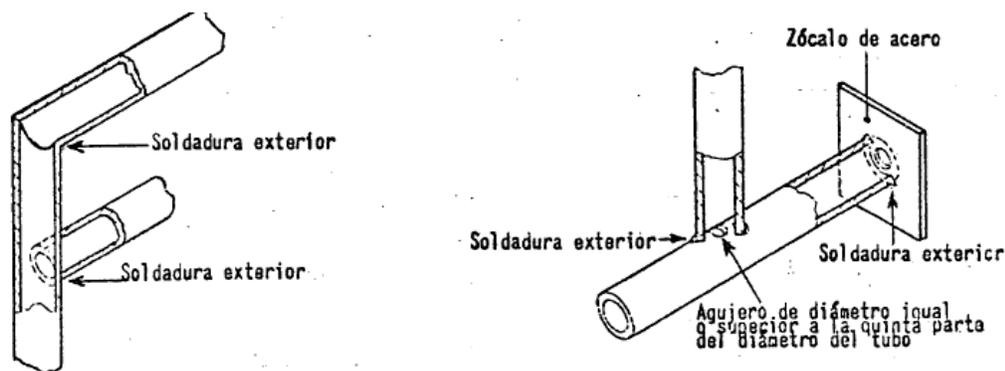
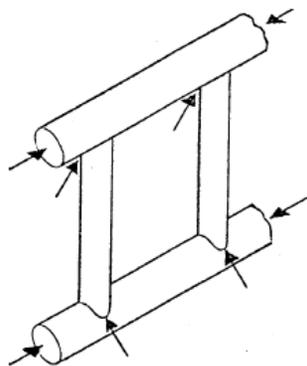


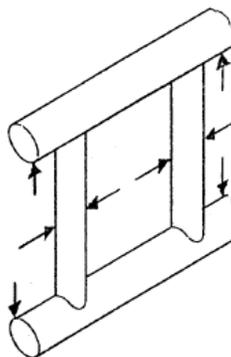
Fig. B.4 Ejemplos de uniones entre tubos.

Las construcciones tubulares no deben tener en ningún caso partes cerradas. En efecto, la menor fuga de solución de decapado en la tubería provocaría en la inmersión en el zinc una vaporización instantánea del ácido con el consiguiente peligro de explosión. En la Fig. B.5 se muestra la disposición correcta de los orificios en diversas construcciones tubulares.

ACONSEJABLE



NO ACONSEJABLE



Las flechas indican el emplazamiento de los agujeros de circulación del ácido y del zinc en fusión

Fig. B.5 Disposición correcta de los orificios en diversas construcciones tubulares.

B.7 Galvanizado de superficies heterogéneas

B.7.1 Conjuntos de acero moldeado y acero laminado

Todos los conjuntos formados por acero moldeado y acero laminado, (Ver Fig. B.6) deben someterse al chorro de arena una vez hayan sido montados y antes de proceder a su decapado.

En efecto, los materiales moldeados necesitan un decapado más ligero que los laminados. Por ello si se decapan en iguales condiciones cabe el riesgo de obtener un galvanizado irregular y sin uniformidad.

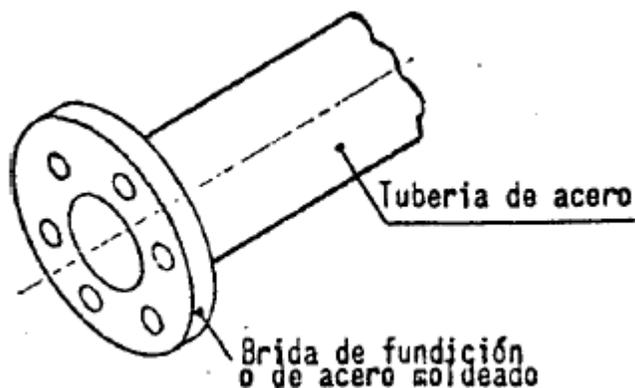


Fig. B.6 Conjunto formado por acero moldeado y acero laminado

B.7.2 Aceros laminados parcialmente mecanizados

También en el galvanizado de productos de acero laminado parcialmente mecanizados,

(Ver Fig. B.7) pueden originarse faltas de homogeneidad. En efecto, la frecuencia de una gruesa capa de calamina en las superficies no mecanizadas puede hacer necesario un decapado más enérgico que perjudique a la parte mecanizada. Por ello es conveniente en este tipo de piezas someterlas al chorro de arena de su mecanizado, pasando después a galvanizarlas.

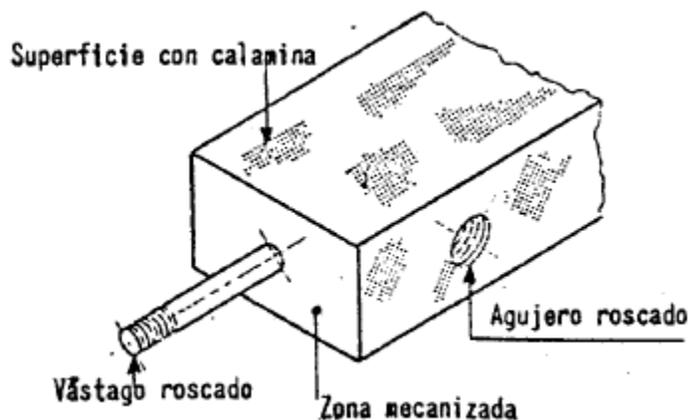


Fig. B.7 Galvanizado de productos de acero laminado parcialmente mecanizados.

B.7.3 Conjuntos de aceros nuevos y usados

Se evitará en lo posible el empleo de acero muy oxidado o picado con acero nuevo, (Ver Fig. B.8) laminado tanto en caliente como en frío.

El galvanizado no cubrirá las irregularidades ni proporcionará una superficie uniforme.

En realidad se presenta el mismo inconveniente que en los casos anteriores, esto es, la necesidad de un decapado diferente para cada material.

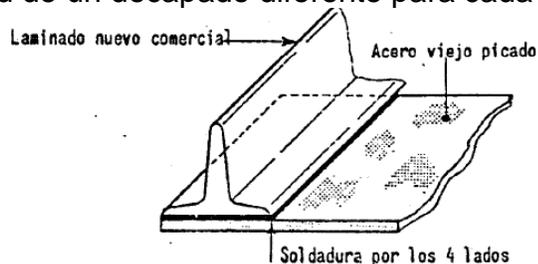


Fig. B.8 Conjunto de acero muy oxidado o picado con acero nuevo

B.7.4 Observaciones

En general los riesgos expuestos para los anteriores casos particulares se presentan siempre que se galvanicen conjuntos integrados por materiales diferentes o de superficies en diferente estado. Particularmente, no es aconsejable soldar acero semiduros con aceros dulces cuando el conjunto haya de galvanizarse.

B.8 Cuerpos huecos, piezas cerradas, depósitos

B.8.1 Galvanizado interior y exterior

En la construcción de estos productos ha de evitarse los interiores grasientos o barnizados o las chapas con marcas de pintura o barnizadas.

Ciertos barnices son más resistentes al decapado a 150 °C que a la temperatura ambiente. La casi imposibilidad de observación del interior de los depósitos y piezas cerradas puede dar origen a un mal galvanizado interior aunque su aspecto exterior sea impecable.

Una forma sencilla y práctica de eliminar la grasa es, como ya se ha citado anteriormente, sumergir el depósito en una solución de fosfato trisódico.

Los cuerpos huecos, los recipientes, tubos cerrados y en general todas las concavidades inaccesibles necesitan agujeros suplementarios que permitan la salida de gases, del ácido del decapado y de zinc. (Ver Fig. B.9).

La situación de estos orificios deberá elegirse cuidadosamente para que no se produzcan retenciones de ácido o zinc en el interior del recipiente.

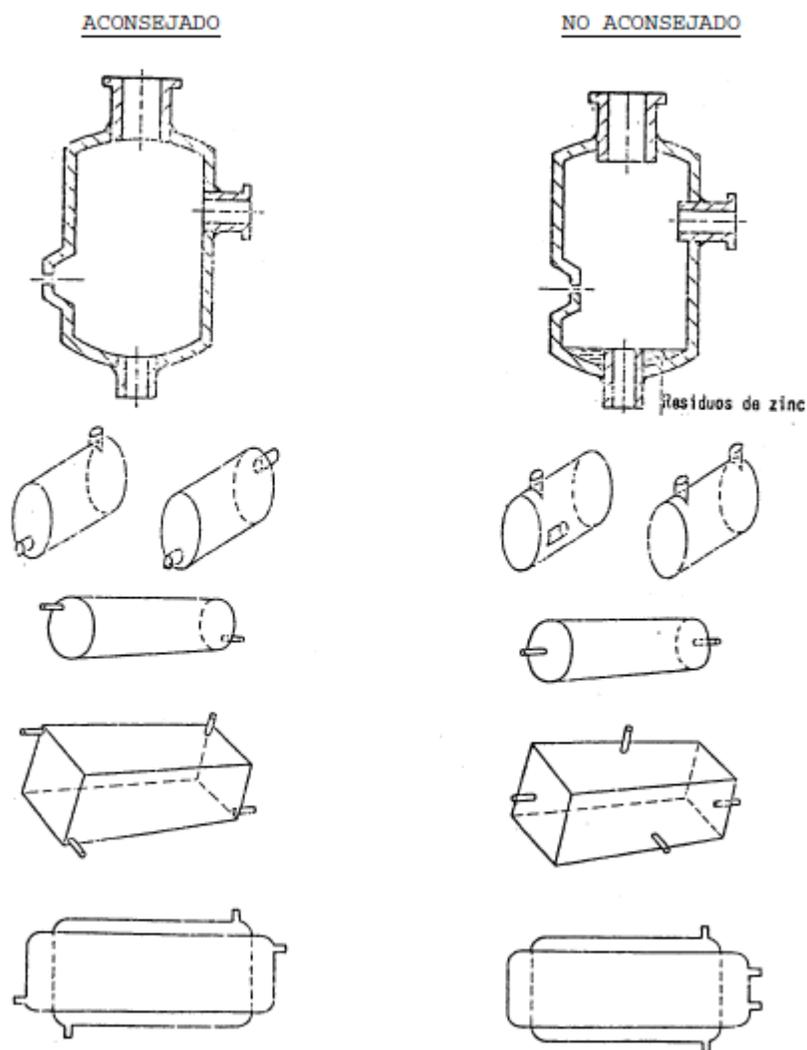


Fig. B.9 Situación aconsejada de los agujeros suplementarios en cuerpos huecos, recipientes, tubos cerrados, etc.

Asimismo es importante el tamaño de los citados orificios que deban ser proporcionalmente al volumen del recipiente ya que la velocidad de entrada y salida del zinc influye en la calidad, aspecto y precio del galvanizado.

Así por ejemplo en la Fig. B.10 se representan 2 depósitos del mismo volumen con orificios de diferente sección; 12 cm^2 para el depósito A y 3 cm^2 para el depósito B. El depósito A se llamará y vaciará en un tiempo cuatro veces menor que el B. Como consecuencia el galvanizado del depósito A resultará más uniforme y continuo y con una masa total de zinc menor.

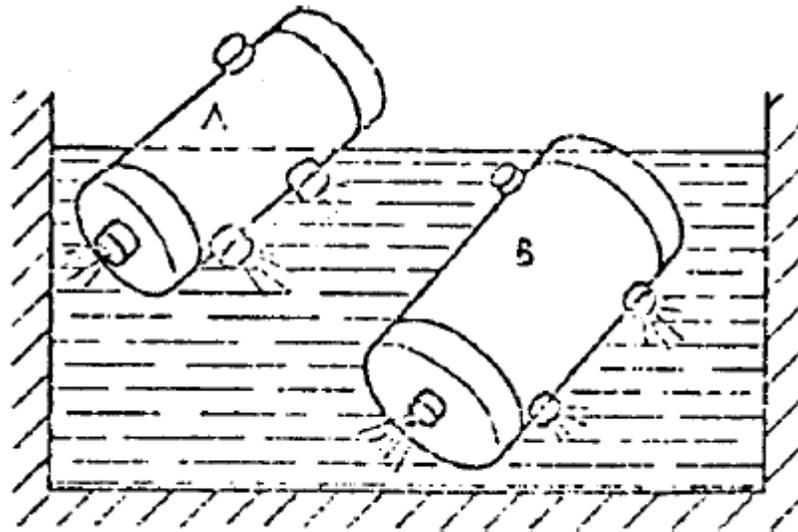


Fig. B.10 El tamaño de los orificios suplementarios debe ser proporcional al volumen del recipiente.

B.8.2 Galvanizado exterior

En estos casos debe preverse la colocación de tubos de escape del aire y vapores y de cierres herméticos en los orificios restantes.

B.9 Conjuntos con concavidades

En los conjuntos a galvanizar han de evitarse las concavidades ciegas pues pueden originar en su inversión embolsamientos de aire, que impiden su galvanizado, o por el contrario pueden retener exceso de zinc. Como caso particular cabe considerar los extremos de los dinteles y las partes de los pilares sobre los que se realiza el embrochalado con el dintel.

Como se muestra en la Fig. B.11 se soluciona este problema efectuando un corte en los vértices de los tetraedros.

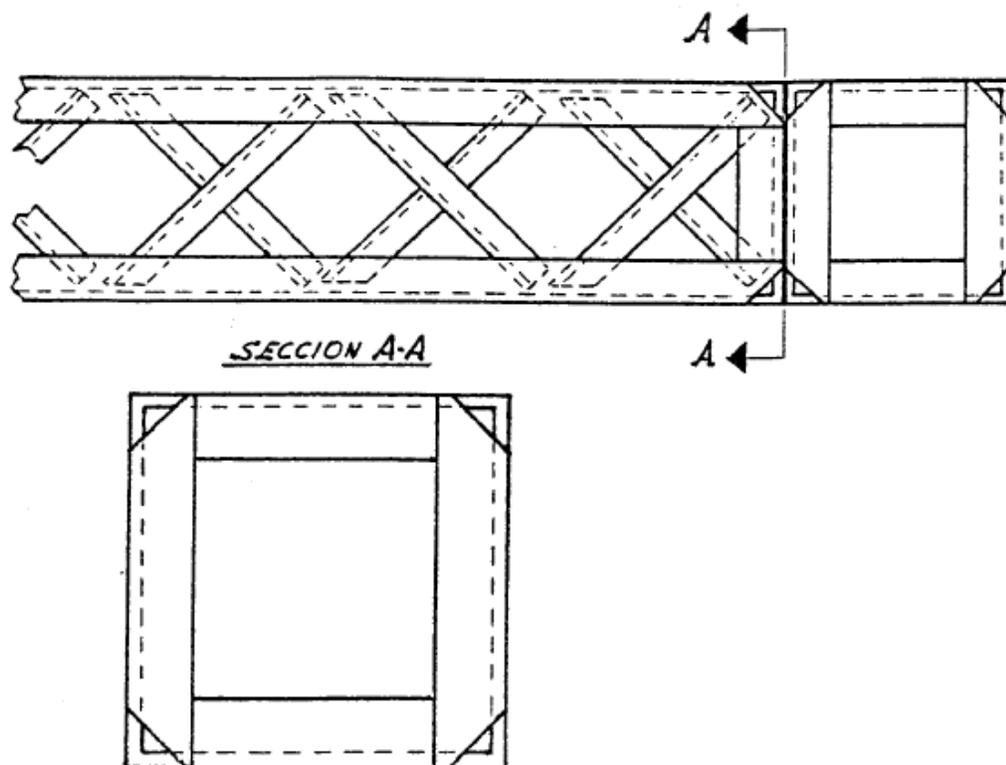


Fig. B.11 Galvanizado de dinteles y pilares

B.10 Precauciones a tomar para evitar deformaciones de conjuntos de acero

Los conjuntos constituidos por elementos de espesores muy diferentes pueden sufrir deformaciones al galvanizarse, como consecuencia de la diferencia de velocidad de calentamiento y refrigeración a que quedan sometidos respectivamente al sumergirlos o extraerlos del baño de zinc.

Esto sucede, por ejemplo, en chapas soldadas sobre angulares o perfiles o en piezas de acero reforzados interiormente con perfiles laminados. (Ver Fig. B.12).

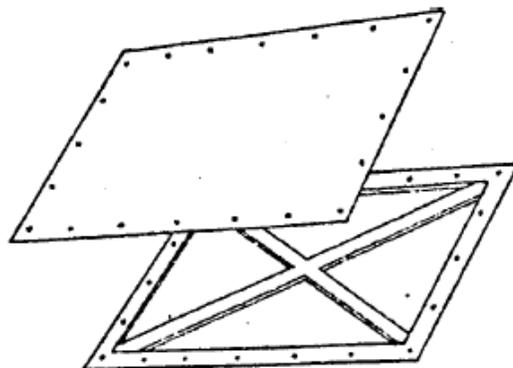
NO ACONSEJADOACONSEJADO

Fig. B.12 Galvanizado de conjuntos contruidos por elementos de espesores muy diferentes. Ejemplo: piezas de acero reforzados con perfiles laminados.

En general se evitará en lo posible estas diferencias de espesor. Si son inevitables podrá optarse por efectuar su montaje después del galvanizado.

La unión posterior de los elementos podrá realizarse mediante soldadura, con remaches o tornillos galvanizados.

Se puede reparar el revestimiento protector sobre la soldadura o sobre remaches no galvanizados por varios procedimientos de garantía tales como: pinturas ricas en zinc, metalización por proyección de zinc o mediante fusión sobre esta zona de una aleación eutéctica zinc-cadmio.

En general se recomienda el empleo de perfiles simétricos y curvaturas de gran diámetro en los angulares.

B.11 Refuerzos alrededor de aberturas

Cuando en paredes de cuerpos cilíndricos o esféricos haya de proyectarse agujeros de entrada de hombre, de puño, para tapones, etc., la colocación de los refuerzos de realizará en la forma que se indica en la Fig.

B.13.2. Se observa como el buen método consiste en separar el esfuerzo de la unión del cuello y el cuerpo cilíndrico. De esta manera la ejecución del cordón de soldadura S se hace más sencilla y se independiza de la soldadura del cuello H. En estas condiciones el riesgo es mucho menor.

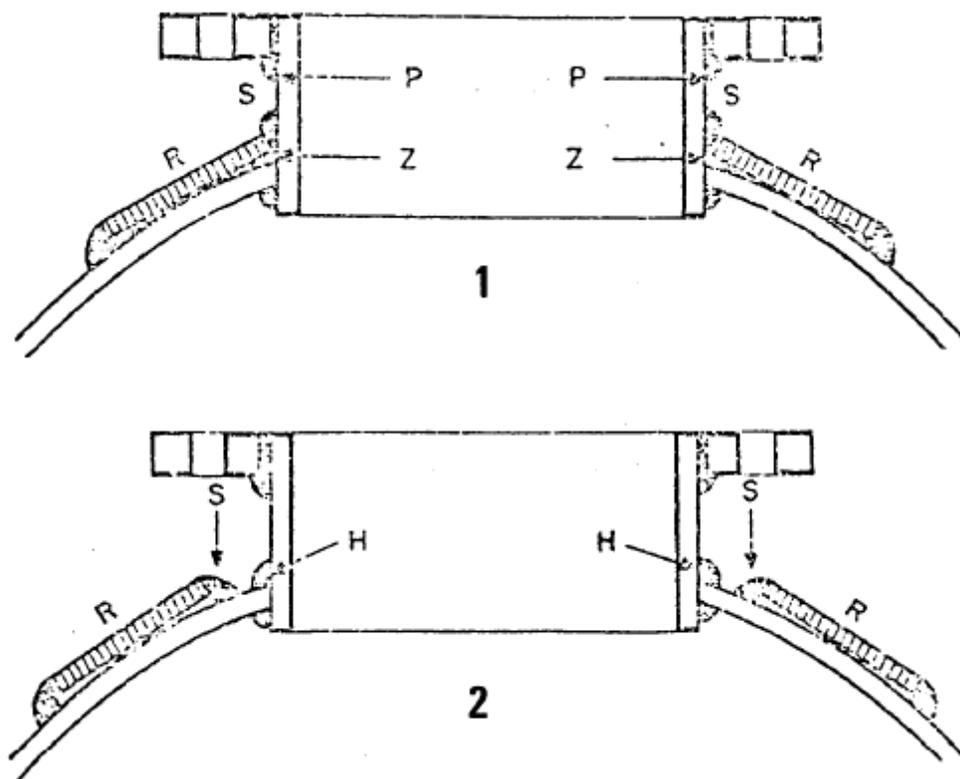


Fig. B.13 Situación correcta de refuerzos alrededor de aberturas.

B.12 Mantenimiento de materiales galvanizados

Es conveniente que los productos de mediano tamaño tengan previsto al menos un agujero de 4 mm como mínimo para poderlo sujetar antes de su inmersión en el zinc. Esto no incumbe a materiales tales como tornillería.

Para elementos de grandes dimensiones: cubas, cisternas, etc., se recomienda soldar anillos de elevación que pueden ser aserrados fácilmente después del galvanizado.

B.13 Marcas

Para indicar sobre los productos a galvanizar los datos necesarios como dirección, nomenclatura, etc., se recomienda utilizar etiquetas metálicas atadas mediante alambres.

Pueden también hacerse marcas mediante punzonado en frío antes del galvanizado.

Anexo 8.- GUÍA DE INSPECCIÓN DE CALIDAD A LAS PIEZAS DESPUÉS DEL GALVANIZADO ^[51]

Irregularidad	Causas	Recomendaciones	Ver nota	Motivo de rechazo
Terrones y lágrimas (Escurrido irregular)	Extracción demasiado rápida	Sacar el material lentamente	D	Solamente por acuerdo previo
	Baño del galvanizado demasiado frío	Aumentar la temperatura	D	
	Zinc procedente de las costuras, uniones, orificios, etc.	Sacar el material lentamente	D	
	Artículos en contacto durante la extracción	Mantener separados los artículos	D	
Inclusiones de flujo	Flujo agotado	Renovar la capa de flujo	E	Sí
	Residuos superficiales sobre el acero	Comprobar la limpieza del acero	E	Sí
	Flujo arrastrado de la superficie del baño	Espumar antes de la extracción	E	Sí, a menos que se quiten
Inclusiones de ceniza	Cenizas quemadas durante la inmersión	Espumar antes de la inmersión	F	Sí, estando en terrones grandes
	Cenizas arrastradas de la superficie del baño	Espumar antes de la extracción	F	
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	E	Si
	Manchas y salpicaduras	Revisar las condiciones de almacenamiento	E	No

Irregularidad	Causas	Recomendaciones	Ver nota	Motivo de rechazo
Recubrimiento gris oscuro (todo el revestimiento en aleación de zinc-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	G	No, si se debe a la condición del acero o se limita a zonas ocasionales. Control mediante acuerdo previo
	Enfriamiento lento después de la galvanización	Evitar el apilamiento en caliente; enfriar en agua	G	
	Desprendimiento de hidrógeno durante la solidificación del recubrimiento	Evitar el decapado excesivo, utilizar inhibidor	G	
Manchas de orín	Derrame de ácidos, flujo, etc. de costuras y pliegues	Comprobar el diseño y la fabricación	H	No
	Almacenamiento junto al material oxidado	Comprobar las condiciones del almacenamiento	H	
Manchas blancas	Confinamiento de artículos en forma compacta en condiciones de humedad	Almacenamiento y expedición en seco, con buena ventilación; separar las piezas con espaciadores	I	No, a menos que se presente antes de la primera expedición. El cliente tomará precauciones durante el transporte y almacenamiento
	Empaquetado de artículos en estado húmedo	Secar antes de empaquetar, incluir desecante	I	
Ampollas	Dilatación del hidrógeno y de la humedad ocluidos en grietas	Comprobar la calidad del acero	J	No
	Expulsión del hidrógeno absorbido durante el decapado	Chorrear con granalla en vez de decapado químico. Comprobar el acero suministrado	J	
	Maleabilización incorrecta (solo piezas moldeadas de hierro maleable)	Revisar el tratamiento de maleabilización	J	

Irregularidad	Causas	Recomendaciones	Ver nota	Motivo de rechazo
Ampollas minúsculas	Efecto observado, a veces, sobre el material enfriado rápidamente y, en particular, en piezas de fundición maleable. Puede producirse por El desprendimiento del hidrógeno absorbido o por la liberación del carbono combinado cerca de la superficie	Chorrear con granalla, en vez de decapado químico. Revisar el tratamiento de maleabilización. No debe existir carbono combinado cerca de la superficie de la pieza	K	No, si se debe al tratamiento de maleabilización

Notas sobre la guía para la inspección

A Zonas desnudas

Debido al comportamiento como ánodo de sacrificio del zinc, los pequeños fallos localizados suelen autorregenerarse de manera que ejercen escaso efecto en el recubrimiento. En los casos en que se considera necesario, esos espacios pueden retocarse con una capa de pintura rica en zinc de espesor análogo. Si la zona desnuda es extensa, las piezas habrán de rechazarse sin titubear. A continuación se describen algunas de las causas a que obedecen las zonas desnudas en el acero galvanizado.

A-1 Preparación deficiente

La causa probablemente más corriente de que existan zonas desnudas, son los restos de pintura, aceite, grasa, cascarilla u óxido dejados sobre la pieza a tratar a consecuencia de una limpieza o decapado insuficientes. El zinc no moja tales residuos y, por lo tanto, se impiden las reacciones normales del recubrimiento. La preparación perfecta del acero es el fundamento de un galvanizado correcto.

A-2 Escoria de soldadura

Los depósitos o capas de escoria, como resultado de la soldadura por arco, resisten a los ácidos normales empleados en el decapado, y han de eliminarse completamente antes de que las piezas de sometan al proceso de galvanización.

Para este fin se recomienda el chorreo con granalla. Debe evitarse el empleo de varillas de soldadura recubiertas.

A-3 Secado excesivo

La protección contra la corrosión atmosférica que proporciona el tratamiento previo con flujo puede desaparecer a causa de la oxidación subsiguiente del acero, si se prolonga el tiempo que media entre dicho tratamiento y la galvanización, o bien si la temperatura de secado es demasiado elevada. Lo que indica la destrucción del flujo es el aspecto de color marrón que toman las piezas. En casos extremos, el efecto sobre el recubrimiento de zinc es parecido al del decapado insuficiente (A-1).

A-4 Exceso de Aluminio

Se puede presentar un tipo de defecto conocido como "manchas negras" cuando el baño está protegido con una cubierta de flujo y el contenido en aluminio es demasiado elevado. No debe experimentarse ningún inconveniente si el contenido en aluminio del baño se mantiene por debajo de 0,01 por ciento, aproximadamente, valor éste superior al necesario, pero al que se llega para obtener recubrimientos brillantes.

A-5 Defectos que presenta el acero laminado

En líneas generales, estos defectos pueden clasificarse como discontinuidades que presenta el acero, las cuales se ha cerrado y alargado durante la laminación, pero sin llegar a soldarse. Ejemplos de ello son las hojas, solapas, pliegues e impurezas no metálicas ocluidas durante la laminación.

La primera clase de defectos se detectan a veces antes o después del decapado, pero en ocasiones no saltan a la vista hasta que se han abierto por efecto del calor del baño de galvanización.

Cuando se trata de impurezas que se han mezclado con el acero laminado, los métodos convencionales para la limpieza de la superficie suelen ser ineficaces. Las imperfecciones menores que presenta el metal base pueden eliminarse mediante amolado local, pero bien poco se puede ganar cuando la superficie del acero es verdaderamente deficiente.

A-6 Artículos en contacto mutuo

Es necesario que el zinc bañe todos los puntos de la superficie a galvanizar. Para ello se evitará que las diferentes piezas a galvanizar puedan permanecer en contacto durante su entrada y permanencia en el baño, dando lugar a zonas sin protección.

B Rugosidad general

El recubrimiento rugoso es debido habitualmente a crecimiento excesivo de la capa de aleación o a desigualdades de la misma. Sus posibles causas son el decapado excesivo, la inmersión prolongada en el baño y la temperatura de galvanización demasiado elevada. Sin embargo, esa condición se atribuye con frecuencia a la composición o al estado original de la superficie del acero. Dado que la irregularidad de la capa de aleación tiende a aumentar con su propio espesor, es evidente que los recubrimientos gruesos son habitualmente más rugosos que los delgados. Cuando se aplican recubrimientos de fuerte espesor, es inevitable cierto grado de rugosidad. En la mayor parte de los casos una

rugosidad moderada no tiene importancia si la adherencia es buena, y el material debe aceptarse.

C "Granitos"

Estos pueden ser debidos a la inclusión de matas en el recubrimiento como resultado de haber agitado la capa del fondo del baño. Alternativamente, las matas pueden provenir de las sales de hierro arrastradas del tanque de decapar con las propias piezas, sales que quedan retenidas en la superficie del recubrimiento.

Como las matas tienen un grado de corrosión parecido al del zinc, afectan muy escasamente a la duración normal del recubrimiento, de manera que su presencia en forma de granitos muy finos no es un motivo serio de objeción.

Ahora bien, las inclusiones de matas gruesas son normalmente justificación suficiente para rechazar el artículo, ya que tienden a hacer quebradizo el recubrimiento y pueden ser causa de que la superficie se ponga prematuramente amarillenta cuando éste se deja a la intemperie.

D Terrones y lágrimas

La uniformidad de la superficie del recubrimiento se consigue mediante un escurrido correcto de la pieza. El recubrimiento aterronado y desigual obedece a que el material se retira del baño con demasiada rapidez o a que la temperatura del baño es demasiado baja para permitir que el zinc sobrante escurra debidamente hacia el baño. Las lágrimas pueden también producirse por el derrame del zinc retenido en los orificios, pliegues, costuras y otros huecos en que el zinc tiende a acumularse, y son una consecuencia directa del diseño del artículo. Este exceso de zinc, no es perjudicial, excepto en aquellos casos en que se requiera un acabado liso. El mismo fenómeno se produce cuando se retiran del baño artículos que se hallan en contacto mutuo.

E Inclusiones de flujo

Las inclusiones de flujo originan invariablemente el rechazo de artículos, debido a la tendencia del flujo a descomponerse por absorción de la humedad atmosférica, provocando soluciones fuertemente ácidas.

Estas inclusiones se producen por la tendencia del flujo agotado a permanecer adherido a la superficie del acero, en lugar de separarse a medida que las piezas se sumergen en el baño. En ocasiones las inclusiones se producen incluso con flujo fresco si sobre la superficie del acero existen residuos de grasa, escamas u otros contaminantes resistentes a la acción del flujo. Tanto en un caso como en el otro, tales inclusiones suelen dar lugar a las zonas desnudas que se aprecian en el recubrimiento. Las manchas negras que forman las partículas de flujo que han quedado incluidas en el galvanizado, se distinguen de las manchas de suciedad, señales de salpicaduras y otras clases menos perjudiciales de contaminación por su tendencia característica a absorber humedad.

La presencia de flujo en la superficie de la pieza, arrastrado del baño cuando se extrae el material, no justifica el rechazo si se elimina este flujo y el recubrimiento subyacente es bueno.

F Inclusión de cenizas

Lo mismo que ocurre con el flujo, las cenizas, pueden adherirse al acero durante la inmersión o la extracción de las piezas. Dado que las inclusiones que se originan en la inmersión interfieren la formación del recubrimiento, son causa suficiente para que el trabajo se rechace. Sin embargo, esto no se aplica a la película de óxido que a veces se forma en la superficie del baño de galvanización. Estas películas son inevitables cuando se tratan piezas muy voluminosas que requieren una retirada lenta del baño. No afectan a la duración del recubrimiento.

Los grumos de óxido debidos a un espumado descuidado de la superficie de salida del baño, pueden reducir el grosor efectivo del recubrimiento, y no son aceptables.

G Recubrimiento gris oscuro

El tono grisáceo que se produce mientras se enfrían las piezas, se debe a la difusión de la fase aleación hierro-zinc en la superficie del recubrimiento.

Se presenta habitualmente como una mancha oscura, local, en una superficie que, por lo demás, es normal, pero que en ciertos aceros puede llegar a extenderse por toda la pieza.

Lo más frecuente es hallar ese defecto en estructuras pesadas que se enfrían lentamente y en ciertas clases de acero, tales como los que presentan un contenido relativamente elevado de silicio o fósforo, o en aceros muy deformados en frío, todos los cuales acusan un crecimiento de aleación anormalmente rápido. Otras causas que producen recubrimientos grises son el apilamiento de piezas calientes, el empleo de temperaturas de baño excesivas, y el que, durante la galvanización, se libere hidrógeno absorbido por el acero durante la operación de decapar.

Cuando este estado de cosas obedece a la naturaleza del acero base, el galvanizador puede hacer poco para evitarlo. Una temperatura baja de galvanización y una inmersión breve, seguida (si la clase de producto se presta a ello) de un enfriamiento rápido en agua para detener el crecimiento de la aleación, puede tener éxito en algunos casos. También puede conseguirse alguna ventaja mediante extracción y enfriamiento rápidos, con lo que se logra que el recubrimiento tenga una capa de zinc gruesa y pura.

Sin embargo, cuando se trata de aceros más reactivos, tales medidas no son siempre eficaces, siendo inevitables esas zonas oscuras en el recubrimiento.

H Manchas de orín

Estas manchas pueden ser originadas por el ácido o el agua que rezuma en las uniones y pliegues después de la galvanización, o por el almacenamiento de las piezas en contacto con acero oxidado.

Las manchas de orín de esta clase son superficiales y no deben confundirse con el fallo del recubrimiento subyacente. Estas manchas pueden ser indicio de ulteriores complicaciones, capaces de perjudicar seriamente la vida del recubrimiento (el líquido corrosivo ocluido continúa actuando), siendo preciso en este caso una modificación del diseño.

I Manchas blancas. Manchas por almacenamiento húmedo

Se denominan manchas por almacenamiento húmedo, a los depósitos blancos o grises que se forman por corrosión acelerada del recubrimiento cuando los artículos galvanizados se almacenan en íntimo contacto y en un ambiente húmedo y sin ventilación adecuada.

El ataque proviene de la retención de películas de agua (por haber estado expuestas las piezas a la intemperie, o por condensación) entre superficies que se tocan y entre las cuales la circulación de aire es muy limitada. El daño que pueda sufrir la capa inferior del recubrimiento depende del tiempo de exposición pero es evidente que el perjuicio puede ser mayor si hay residuos de flujo, o ambiente ácido o salino.

Aunque en casos extremos el valor protector del recubrimiento puede resultar seriamente quebrantado, el ataque es frecuentemente superficial a pesar del volumen que presenta el producto de la corrosión. Se pueden hacer objeciones a la admisión de los artículos basándose principalmente en su aspecto.

Si las manchas son ligeras, pueden quitarse cepillándolas o bien tratando la superficie con una solución acuosa de ácido tartárico y carbonato amónico, frotando seguidamente con una esponja impregnada en blanco de España.

Si se trata de manchas de cierto grosor, es preferible efectuar un cepillado con una pasta de sosa cáustica y polvos de talco. Si se emplean los productos citados, es preciso enjuagar la superficie tratada y a continuación secarla correctamente.

Para impedir la formación de manchas blancas, los artículos galvanizados se almacenarán bajo techado, en ambiente seco y bien ventilado. Cuando se hace necesario apilar a la intemperie, se evitará que el material esté en contacto con el suelo; conviene además separar las piezas con listones separadores para que el aire pueda circular por todos los puntos de la superficie.

Las piezas pequeñas, enfriadas rápidamente por inmersión en agua, después de galvanizadas y almacenadas en recipientes, han de hallarse completamente secas, antes de ser embaladas. Si el recipiente está cerrado, se recomienda la inclusión de un desecante. Mediante un tratamiento químico adecuado, tal como el cromado, se puede conseguir una protección adicional contra las manchas blancas.

La mejor protección se logra con soluciones concentradas de cromado que dan a la superficie un color amarillo y con muy eficaces. Sin embargo, las soluciones diluidas conservan el aspecto original del recubrimiento, pero su valor de protección es proporcionalmente menor.

J Ampollas

Las ampollas que se forman durante la galvanización en caliente casi siempre asociadas con los defectos que existen debajo de la superficie del acero base, tales como hojas, sopladuras y otras discontinuidades. Durante el decapado, el hidrógeno puede acumularse en esas cavidades y la expansión del gas durante la galvanización da origen a que en la superficie aparezcan ampollas. El defecto se debe principalmente a la calidad del acero. Las ampollas, una vez formadas, no pueden eliminarse mediante una nueva galvanización. Las ampollas pueden obedecer también a hidrógeno absorbido durante el decapado y expelido a la temperatura de galvanización.

Esto se puede evitar, seleccionando un acero que por su composición resulte menos susceptible a la absorción de hidrógeno. Como hemos dicho, una vez que las ampollas se han formado, no pueden eliminarse aunque se proceda a una re galvanización.

K Ampollas minúsculas en piezas de fundición maleable

En determinadas circunstancias, se encuentran casualmente ampollas muy pequeñas en recubrimientos obtenidos sobre fundición maleable. Algunas de estas ampollas pueden darnos la impresión de granitos producidos por las matas, pero mediante microsecciones, se observa que tienen ocluidas burbujas de gas. Esto puede ser debido, ya sea a hidrógeno absorbido en la operación de decapado (cosa que se corrige utilizando un inhibidor y reduciendo el tiempo y la temperatura de éste), o bien a gas formado en la liberación del carbono combinado cerca de la superficie de la pieza. El remedio, en el segundo caso, es cambiar el tratamiento de maleabilización, impidiendo que el carbono combinado se encuentre en la proximidad de la superficie.

L Alabeado y deformación

El proceso de galvanización en caliente implica la inmersión de las piezas en zinc fundido a unos 440 - 460 °C. A causa de esto, algunos materiales compuestos de varias piezas soldadas o remachadas pueden alabearse o deformarse durante la galvanización.

Las dos causas principales son:

- tensiones térmicas producidas en el material, debidas a la distinta dilatación y concentración, a causa de la combinación de partes de diferente espesor o por el uso de secciones no simétricas en el conjunto
- liberación de las tensiones residuales internas producidas durante la fabricación

Para reducir al mínimo los alabeos y deformaciones, se deben observar en las fases de proyecto y fabricación del artículo, las recomendaciones siguientes:

- limitar las estructuras compuestas de varias piezas a las dimensiones que permitan tratarlas en una sola inmersión
- conformar los compuestos de un conjunto con la máxima exactitud para que no haga falta forzarlos, torcerlos o comprimirlos durante la soldadura
- disminuir las tensiones producidas en las soldaduras, si es posible, mediante un tratamiento térmico a baja temperatura

- diseñar, en lo posible, las piezas de un conjunto a base de espesores iguales y con secciones simétricas

M Superficies deterioradas

Las pequeñas zonas desnudas o deterioradas, a causa de la soldadura o por un manejo excesivamente descuidado, pueden restaurarse con facilidad. Sin embargo, sólo se conseguirá una adecuada resistencia a la corrosión si se vuelve a depositar un peso equivalente de zinc, empleando una de las técnicas siguientes:

- chorreo con granalla de acero sobre el área afectada y metalización con zinc. Un espesor medio de 0.1 mm de zinc dará una resistencia a la corrosión equivalente a 600 g/m² de recubrimiento galvanizado
- eliminar completamente la escoria de soldadura y después aplicar chorro de granalla, decapar mecánicamente o cepillar a fondo con cepillo de alambre y aplicar un número apropiado de capas de pintura rica en zinc. Normalmente, con estas pinturas se obtienen depósitos de zinc de, aproximadamente, 150 g/m² por capa
- eliminar completamente la escoria de soldadura, calentar la zona desnuda con un soplete, a unos 300 °C, cepillar con cepillo de alambre y después frotar la superficie caliente con una aleación cadmio-zinc en forma de polvo o varilla

Anexo 9.- PRÁCTICA DE LABORATORIO: ENSAYO DE FLEXIÓN



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 DEPTO. DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

PRÁCTICA DE LABORATORIO: ENSAYO DE FLEXIÓN

I INDICACIONES GENERALES

Para realizar esta práctica se deberá tener mucha precaución ya que el equipo para realizar ensayos de flexión consta de un potente sistema hidráulico que podría causar daños y lesiones si se acercan las manos u otros objetos ajenos a la práctica. Además, se debe tener la precaución de no mantener objetos sobre las mordazas, que puedan salir proyectadas debido a las fuerzas ejercidas por la máquina.

II OBJETIVO GENERAL

Verificar la adherencia del recubrimiento de zinc sobre probetas de acero de bajo carbono que han sido galvanizadas por inmersión en caliente, sometiendo dichas probetas a flexión pura y deformándolas hasta cierto ángulo para verificar la adherencia o algún daño como desprendimiento o agrietamiento del recubrimiento de zinc.

III OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Ensayar probetas galvanizadas teniendo en cuenta los tiempos de inmersión y decapado con que ha sido realizado dicho proceso de galvanizado.

Deformar las probetas galvanizadas hasta un ángulo de 135° usando flexión en tres puntos.

Verificar visualmente si las probetas galvanizadas deformadas presentan agrietamiento o desprendimiento de la capa de zinc de la probeta de acero.

En caso de existir desprendimientos y/o agrietamientos de la capa de zinc. Identificar los tiempos de inmersión y decapado en los que se presentaron fallos.

IV ANTECEDENTES

Uno de los métodos más utilizados para determinar la calidad y verificar la adherencia de un recubrimiento en general, es someter el material recubierto a flexión en tres puntos, deformándolo hasta cierto ángulo, con el fin de verificar si existen o no fisuras o desprendimientos en la zona deformada, esto sirve para determinar si el material que constituye el recubrimiento se ha adherido lo

suficientemente fuerte como para asegurar que no se desprenderá por deformaciones mecánicas a las que puede estar sometida la pieza recubierta.

V MÁQUINAS DE ENSAYO DE FLEXIÓN

Existen diferentes tipos de máquinas de ensayo a flexión que varían según carga a utilizar tipo de material a deformar tipo de ensayo etc. pero el tipo de máquina que se utilizará para esta práctica de laboratorio es la que se presenta en la Fig. 1.



Fig. 1. Máquina para ensayo a flexión.

El esquema del ensayo que se va a realizar en este laboratorio es el que presenta la Fig. 2. Este se conoce como ensayo a flexión en 3 puntos.

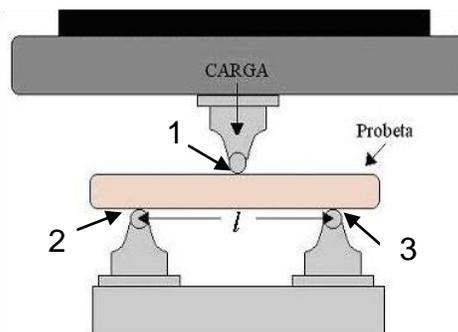


Fig. 2. Esquema del ensayo a flexión que se va a realizar en este laboratorio, de 3 puntos.

VI CONSIDERACIONES

Por norma general se considera que el diámetro del rodillo que va a utilizar en el ensayo a flexión debe ser 5 veces más grande que el diámetro de la probeta y que la longitud "l" que se presenta en la Fig. 2 debe ser igual al diámetro del rodillo más 2 veces el diámetro de la probeta. Además, se tiene que considerar que en el proceso de deformación del material, se presentará un

pequeño porcentaje de elasticidad en el material y que para fines prácticos de medición, en estos ensayos de laboratorio no se tomarán en cuenta.

Un punto a favor de este ensayo a flexión es que sólo se tomará en cuenta la deformación del material. Además, no se necesitará determinar el valor de la carga o fuerza para la deformación del material, ya que esta al comenzar la deformación se mantiene constante.

VII ANÁLISIS DEL ENSAYO

En la Fig. 3 se presenta un esquema del ensayo con sus variables importantes como diámetro del rodillo (D) diámetro de la probeta (d) longitud entre puntos de apoyo (l) profundidad de deformación (h) y ángulo de deformación (Θ)

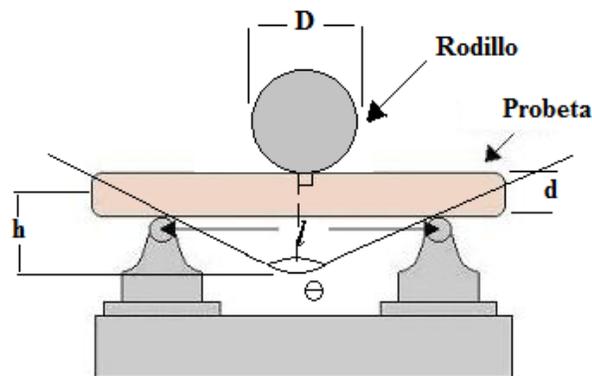


Fig. 3. Esquema del ensayo y sus variables más importantes.

Las ecuaciones que relacionan las variables son:

$$l = D + 2d \quad (1)$$

$$h = \frac{(D + 2d) \sin(90^\circ - \frac{\theta}{2})}{\sin(\theta)} \quad (2)$$

Así, en la ecuación (1) se relaciona la longitud entre puntos con los diámetros de las probetas y los rodillos según la norma para estos ensayos, y en la ecuación (2) se relaciona la profundidad de deformación con el ángulo de deformación y los diámetros de la probeta y el rodillo (Θ debe estar en grados).

VIII MATERIALES Y EQUIPO A UTILIZAR

Máquina para realizar ensayos con sus accesorios como rodillos y apoyos (Fundamental)

Probetas Galvanizadas a ensayar

Transportador o algún instrumento para medir ángulos

Calibrador o pie de rey

Una cangreja
Lupa
Cámara Fotográfica

IX PROCEDIMIENTO

- Montar el rodillo según el criterio de las consideraciones que es de 5 veces mayor al diámetro de la probeta.
- Encontrar la distancia "l" de separación de los puntos de apoyo en el accesorio de ensayo de la máquina, utilizando los diámetros tanto del rodillo de carga como de la probeta
- Encontrar la profundidad de deformación (h), en base al ángulo establecido de 135° como ángulo de deformación (Θ) para este laboratorio,
- Montar la probeta a ensayar
- Encender el equipo y deformar a la profundidad según el valor que se encontró (h) para el ángulo de deformación determinado (Θ)
- Corroborar el ángulo de deformación con el transportador
- Observar con la lupa la zona deformada de la probeta
- Anotar en la Tabla 1 si la probeta presenta o no grietas o desprendimiento. Esto para cada probeta en base a matriz de tiempo de decapado y de inmersión.
- Elaborar conclusiones.

Tabla 1. Registros de la apariencia del recubrimiento de zinc después del dobles por ensayo de flexión

Tiempos de decapado, min	Tiempos de inmersión, s		
	5	10	15
2	a) si() no() b) si() no() c) si() no()	a) si() no() b) si() no() c) si() no()	a) si() no() b) si() no() c) si() no()
4	a) si() no() b) si() no() c) si() no()	a) si() no() b) si() no() c) si() no()	a) si() no() b) si() no() c) si() no()
6	a) si() no() b) si() no() c) si() no()	a) si() no() b) si() no() c) si() no()	a) si() no() b) si() no() c) si() no()
Total: 27 probetas ensayadas			

Notas: Se colocará un cheque según sea el caso: si después del ensayo de flexión existen grietas o desprendimientos se marca en si () un cheque, caso contrario se marca la casilla no ().

Conclusiones: _____

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS:

Norma ASTM A370-03A:
Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.

Norma ASTM E8-04:
Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.